

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Теплоенергетичний факультет

Кафедра теоретичної і промислової теплотехніки

«На правах рукопису»  
УДК 621.43.056:632.15

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Геннадій ВАРЛАМОВ  
(підпис) (ім'я, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Магістерська дисертація  
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»

на тему: Підвищення енерго-екологічної ефективності та умов експлуатації водогрійного котла КВГМ-20

Виконав: студент II курсу, групи ТП-91мн

\_\_\_\_\_ Мітченко Іван Олександрович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник зав. кафедри, д.т.н., проф., Геннадій ВАРЛАМОВ  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант мат. моделювання к.т.н., доц. Андрій СОЛОМАХА  
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, ім'я, прізвище)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2021 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет Теплоенергетичний

Кафедра Теоретичної і промислової теплотехніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»,

ОНП «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Геннадій ВАРЛАМОВ  
(підпис) (ім'я, прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Мітченку Івану Олександровичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Підвищення енерго-екологічної ефективності та умов експлуатації водогрійного котла КВГМ-20

науковий керівник дисертації ВАРЛАМОВ Геннадій Борисович, д.т.н., проф.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «15»березня 2021 р. № 815-с

2. Термін подання студентом дисертації 14.05.2021 р.

3. Об'єкт дослідження Водогрійний котел КВГМ-20 РК «Веркон»

4. Предмет дослідження Розробка та реалізація на ПЕОМ математичної моделі сумішоутворення у пальниковому пристрою за мікрофакельною технологією газоспалювання з визначенням аеродинамічних, концентраційних та теплових характеристик процесів формування факелу у пальнику типу МГП.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1.Результати обстеження об'єкту

2.Розробка технічних рішень з удосконалення робочих процесів котла

3.Розробка проєктних рішень конструкції пальника нового покоління.

4.Розробка проєктних рішень керування навантаженням котла з використанням частотних перетворювачів.

5. Результати досліджень режимів роботи котла після модернізації.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 6.1 Загальний вигляд котла КВГМ-20 та штатного пальника;

6.2. Модель топки котла, штатного та мікрофакельного пальників;

6.3. Кольорове графічне представлення результатів моделювання аеродинамічних та сумішеутворюючих процесів у топці котла з різними палинками

6.4 Схеми встановлення палиників.

7. Орієнтовний перелік публікацій тези \_\_\_\_\_

8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
мат. моделювання	Андрій СОЛОМАХА, доцент		

9. Дата видачі завдання 12.03.21 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Результати обстеження об'єкту	19.03.20 р.	
2	Розробка технічних рішень з удосконалення робочих процесів котла	26.03.20 р.	
3	Розробка проєктних рішень конструкції палиника нового покоління.	02.04.20 р.	
4	Розробка проєктних рішень керування навантаженням котла з використанням частотних перетворювачів	09.04.20 р.	
5	Результати досліджень режимів роботи котла після модернізації	20.04.20 р.	
6	Оформлення та подання дисертації	14.05.20 р.	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Іван МІТЧЕНКО  
(ім'я, прізвище)

Науковий керівник дисертації \_\_\_\_\_  
(підпис)

Геннадій ВАРЛАМОВ  
(ім'я, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра за освітньо-науковою програмою підготовки на тему «Підвищення енерго-екологічної ефективності та умов експлуатації водогрійного котла КВГМ-20»: 78 с., 35 рис., 16 табл., 6 дод., 14 джерел.

Об'єкт дослідження – водогрійний котел типу КВГМ-20 РК «Веркон».

Мета роботи – покращення комплексних показників експлуатації водогрійного котла КВГМ-20 на основі проведення аналізу умов роботи, моделювання процесів у топці котла, розробки та реалізації комплексу заходів з модернізації основних систем об'єкту.

В роботі на основі результатів літературного огляду за даною темою роботи, створення 3D-моделі та дослідження на ній умов спалювання палива у топці із штатним пальником типу РГМГ-20 та існуючої системи керування подачі палива та повітря, здійснення натурних випробувань котла і аналізі їх результатів доведено недосконалість процесів сумішоутворення, спалювання та руху теплових потоків у топці котла, що спричиняють низький рівень енергоефективності та екологічної чистоти енергоперетворення, обґрунтовано доцільність здійснення модернізації важливих систем котла: паливної системи та системи керування режимами експлуатації.

На підставі аналізу існуючих методів проведення модернізації виконано розробку та впровадження на даному котельному агрегаті мікрофакельної технології спалювання газоподібного палива з високим рівнем енергоефективності та екологічної чистоти, визначено та підібрано типи та характеристики частотних перетворювачів електродвигунів вентилятора та димососа, змінено систему керування навантаження котлом, що впроваджено на об'єкті. За результатами проведеної модернізації котла здійснено налагоджувальні роботи з пуску та експлуатації котла, досліджено та проаналізовано основні аеродинамічні і теплові показники роботи котла КВГМ-20 з мікрофакельним газовим пальником типу МГП-20 та новим алгоритмом роботи автоматизованої системи управління. Отримані результати свідчать про досягнення комплексного позитивного енерго-екологічного ефекту та розширення діапазону стійкої роботи котла від 5 до 100% теплового навантаження. Результати державних випробувань котла після модернізації підтвердили досягнуті за рахунок модернізації паливної системи і системи керування котлом з показниками на рівні Європейських стандартів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** водогрійний котел, дослідження, модернізація, покращення енерго-екологічних показників експлуатації

## **ABSTRACT**

Master's thesis for obtaining a Master's degree in an educational and scientific training program on the topic: "Increasing energy and environmental efficiency and operating conditions of the boiler KVGM-20": 78 pp., 35 figures, 16 tables, 6 appendices, 14 sources.

The object of research is a hot water boiler of the KVGM-20 type of RK "Verkon".

The purpose of the work is to improve the complex performance of the boiler KVGM-20 on the basis of analysis of operating conditions, modeling of processes in the furnace of the boiler, development and implementation of a set of measures to modernize the main systems of the facility.

Based on the results of a literature review on this topic, the creation of a 3D model and research on the conditions of fuel combustion in the furnace with a standard burner type RGMG-20 and the existing fuel and air supply control system, field tests of the boiler and analysis of their results proved imperfection of the processes of mixing, combustion and movement of heat flows in the boiler furnace, causing a low level of energy efficiency and environmental friendliness of energy conversion, substantiated the feasibility of modernization of important boiler systems: fuel system and operation control system.

Based on the analysis of existing methods of modernization, the development and implementation of micro-flare technology of gaseous fuel combustion with a high level of energy efficiency and environmental friendliness was performed on this boiler unit, types and characteristics of frequency converters of electric motors object. Based on the results of the boiler modernization, commissioning works on the boiler start-up and operation were carried out, the main aerodynamic and thermal performance of the KVGM-20 boiler with a MGP-20 micro-flare gas burner and a new algorithm of the automated control system were investigated and analyzed. The obtained results testify to the achievement of a complex positive energy-ecological effect and the expansion of the range of stable operation of the boiler from 5 to 100% of the heat load. The results of state tests of the boiler after modernization confirmed the achievements achieved through the modernization of the fuel system and boiler control system with indicators at the level of European standards.

**KEY WORDS:** boiler, research, modernization, improvement of energy and environmental performance

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация на соискание степени магистра по образовательно-научной программе подготовки на тему «Повышение энерго-экологической эффективности и условий эксплуатации водогрейного котла КВГМ-20»: 78 с., 35 рис., 16 табл., 6 доп., 14 источников.

Объект исследования - водогрейный котел типа КВГМ-20 РК «Веркон».

Цель работы - улучшение комплексных показателей эксплуатации водогрейного котла КВГМ-20 на основе проведения анализа условий работы, моделирование процессов в топке котла, разработки и реализации комплекса мер по модернизации основных систем объекта.

В работе на основе результатов литературного обзора по данной теме работы, создание 3D-модели и исследования на ней условий сжигания топлива в топке штатному горелкой типа РГМГ-20 и существующей системы управления подачи топлива и воздуха, осуществленные натурных испытаний котла и анализе их результатов доказано несовершенство процессов смесеобразования, сжигания и движения тепловых потоков в топке котла, которые вызывают низкий уровень энергоэффективности и экологической чистоты энергопреобразования, обоснована целесообразность осуществления модернизации важных систем котла: топливной системы и системы управления режимами эксплуатации.

На основании анализа существующих методов проведения модернизации выполнена разработка и внедрение на данном котельном агрегате микрофакельными технологии сжигания газообразного топлива с высоким уровнем энергоэффективности и экологической чистоты, определены и подобран типы и характеристики частотных преобразователей электродвигателей вентилятора и дымососа, изменена система управления нагрузки котлом, внедрено на объекте. По результатам проведенной модернизации котла осуществлено наладочные работы по пуску и эксплуатации котла, исследованы и проанализированы основные аэродинамические и тепловые показатели работы котла КВГМ-20 с микрофакельной газовой горелкой типа МГП-20 и новым алгоритмом работы автоматизированной системы управления. Полученные результаты свидетельствуют о достижении комплексного положительного энерго-экологического эффекта и расширения диапазона устойчивой работы котла от 5 до 100% тепловой нагрузки. Результаты государственных испытаний котла после модернизации подтвердили достигнутые за счет модернизации топливной системы и системы управления котлом с показателями на уровне европейских стандартов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** водогрейный котел, исследования, модернизация, улучшение энерго-экологических показателей эксплуатации

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень, термінів.....	8
Вступ.....	9
1. Результати обстеження об'єкту.....	12
1.1 Конструктивні та технологічні характеристики котла КВГМ-20, основного та допоміжного обладнання.....	12
1.2 Загальні умови проведення та результати дослідних випробувань котла зі штатним пальником.....	18
1.3 Результати досліджень аеродинамічних та теплових властивостей робочого процесу котла за допомогою 3D моделі.....	22
1.4 Висновки до розділу 1.....	26
2 Розробка технічних рішень з удосконалення робочих процесів котла.....	27
2.1 Основи мікрофакельного технології газоспалювання.....	27
2.2 Створення 3D моделі пальника нового покоління та результати досліджень.....	31
2.3 Висновки до розділу 2.....	41
3 Розробка проєктних рішень конструкції пальника нового покоління .....	42
3.1 Конструктивні особливості пальника з мікрофакельним спалюванням природного газу.....	42
3.2 Технологічна схема приєднання пальника до газової та повітряної магістралей.....	45
3.3 Технологічні карти демонтажу штатного пальника РГМГ-20 та монтажу пальника типу МГП-20.....	48
3.4 Висновки до розділу 3.....	51
4 Розробка проєктних рішень керування навантаженням котла з використанням частотних перетворювачів.....	52
4.1. Загальні дані та характеристики частотного перетворювача електродвигуна вентилятора....	52
4.2. Загальні дані та характеристики частотного перетворювача електродвигуна димососа.....	54
4.3. Принципова схема підключення частотних перетворювачів до котла.....	56
4.4. Опис алгоритма керування зміною режиму навантаження котла.....	58
4.5 Висновки до розділу 4.....	60
5 Результати досліджень режимів роботи котла після модернізації.....	61
5.1. Особливості розпалу котла з пальником МГП-20.....	61
5.2 Результати енерго-екологічних випробувань котла після модернізації.....	65
5.3 Висновки до розділу 5.....	66
Висновки.....	67
Список використаної літератури.....	69

## Додатки

## Додаток А

Висновки Державного центру по випробуванню та впровадженню паливовикористовуючого обладнання «ЦВВПО».....71

## Додаток Б

Акт закінчення режимно-налагоджувальних та еколого-теплотехнічних випробувань котла КВГМ-20 №8 КТМ РК «ВЕРКОН».....72

## Додаток В

Технічне завдання на науково-дослідну розробку .....73

## Додаток Г

Акт впровадження результатів магістерської дисертації .....75

## Додаток Д

Список наукових праць.....76

## Додаток Е

Результат перевірки на академічний плагіат .....78



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

### Умовні позначення

$Q$  – тепловий потік, кількість теплоти;;

$G$  – масова витрата;

$t$  – температура;

$V$  - об'ємна витрата;

$w$  – швидкість;

$f$  – площа;

$n$  – кількість;

$d$  – діаметр;

$\alpha$  - коефіцієнт надлишку повітря;

$c$  - масова концентрація;

### Індекси

Нижні:

г – природний газ;

пов – повітря;

пр. зг – продукти згорання;

мв – мережна вода;

н – нормальні умови.

Верхні:

к – кінетична подача;

д – дифузійна

### Скорочення

РК – районна котельня;

КВГМ – котел водогрійний газомазутний;

КТМ – Київські теплові мережі;;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

РГМП – ротаційний газомазутний пальник;

МГП – мікрофакельний газовий пальник

## ВСТУП

В наш час гостро постали екологічні питання щодо енерговиробництва на основі використання органічних палив. У зв'язку з тим, що питомі витрати паливно-енергетичних ресурсів в Україні значно перевищують середньосвітові показники, ця проблема є особливо актуальною в енергетичній галузі нашої країни.

Однією з причин такої ситуації є значна зношеність енергетичного обладнання та його невідповідність сучасним Європейським енерго-екологічним вимогам експлуатації, а саме: використання морально, технічно застарілих та аварійно-небезпечних енерготехнологій, регулювання аеродинамічних та теплових процесів енергетичних агрегатів ненадійними та небезпечними системами управління, великі втрати теплоти з недопалом та низьким значенням ККД устаткування, високий вміст шкідливих речовин та парникових газів у димових викидах котлів.

У даний час після підписання Україною Паризького протоколу [1] від об'єктів теплоенергетичної галузі країни вимагається дотримання національних законодавчих актів по забезпеченню екологічних норм в енергопромисловості та Національного плану скорочення викидів від великих великих спалювальних установок [2], Угоди про асоціацію України з ЄС [3] та інших документів.

Реалізація завдань та вимог зазначених документів можлива двома шляхами: за рахунок модернізації діючих застарілих паливоспалюючих установок, або за рахунок масштабної реконструкції теплоенергетичних об'єктів. Другий варіант вимагає вкладення значних коштів, тому найближчим часом не може бути реалізований в достатньому об'ємі. В той же час модернізація існуючого обладнання може бути проведена в короткий термін та не потребує значних капіталовкладень в порівнянні з комплексною реконструкцією.

Можливі варіанти модернізації котлів полягають в застосуванні каталізаторів горіння, зовнішній рециркуляції димових газів, впровадженні новітніх автоматизованих систем управління та алгоритмів керування і захисту, заміні пальникових систем на сучасні високоефективні системи. Однак не усі вони є мало витратними і швидкоокупними.

Застосування каталізаторів горіння полягає у відновленні оксидів азоту  $\text{NO}_x$  до  $\text{N}_2$  за допомогою метану, водню, оксиду вуглецю, або аміаку. Проте не дивлячись на високу ефективність каталітичних методів, на практиці цей спосіб має ряд серйозних недоліків, що робить недоцільним його широке застосування, а саме: великі витрати на каталізатори та обмежені діапазони їх ефективного застосування.

Зовнішня рециркуляція полягає у підмішуванні частини димових газів до підведеного у топку котлів газо-повітряної суміші. Підмішування рециркуляційних димових газів до

газоподібного паливного потоку забезпечує більш ефективне зниження виходу оксидів азоту, в порівнянні з підмішуванням у дуттьове повітря, що забезпечує суттєве зниження  $\text{NO}_x$  на виході з котла. Недоліками цього способу є необхідність у спеціальному обладнанні та конструктивних змін у котлі (встановлення додаткового кошового високотемпературного нагнітача, термостійких газоходів тощо), що збільшує капітальні витрати на модернізацію. Також застосування зовнішньої рециркуляції підвищує опір повітряного тракту, що в свою чергу може порушити стабілізацію полум'я, зростання втрат із недопалом та призвести до зниження енергетичної ефективності котла в цілому.

Для водогрійного котельного агрегату не великої теплової потужності типу КВГМ-20 є доцільним розглянути маловитратні технології підвищення енерго-екологічної ефективності, серед яких позитивними перевагами є заміна штатного реєстрового пальника на сучасний мікрофакельний газовий пальник типу МГП з досягненням комплексного енерго-екологічного ефекту при малих капітальних та експлуатаційних затратах та реалізації гнучкого управління аеродинамічними характеристиками процесу спалювання у топці котла за рахунок встановлення частотних перетворювачів на тяго-дутьові агрегати. Висока ефективність спалювання газоподібного палива у МГП-пальниках досягається завдяки прямоточному руху газоповітряної суміші, якісного попереднього і дифузійного сумішеутворення, внутрішній рециркуляції та високій турбулізації потоків повітря та палива. Це дозволяє організувати у топці котла теплове поле високого ступеня рівномірності, підвищити кількість теплоти, що передається екранним трубам за рахунок випромінювання, запобігаючи при цьому локальним перегріванням конвективних поверхонь котла. При застосуванні МТС-пальника досягається висока рівномірність температурного поля у самому факелі та збільшується діапазон надійного регулювання подачі палива та згорання. Наведені чинники дозволяють значно знизити вміст у продуктах згорання  $\text{CO}$  і  $\text{NO}_x$ .

Крім високих енерго-екологічних показників перевагою даного рішення є можливість здійснення швидко термінової заміни штатного пальника на МТС-пальник безпосередньо на установці впродовж однієї робочої зміни (впродовж 8 годин), без внесення змін в конструкцію топки та поверхонь нагріву котла, що не вимагає великих матеріальних та фінансових капіталовкладень. Ефект заміни штатного пальника на сучасний мікрофакельний пальник типу МГП може бути посилені за рахунок встановлення частотних перетворювачів електродвигунів дутьового вентилятора та димососа, що забезпечує комплексне вирішення завдання по модернізації [4].

В даній магістерській дисертації на прикладі водогрійного котла КВГМ-20 РК «Веркон» наводиться ефективність даних технічних рішень для підвищення енерго-екологічної ефективності та умов експлуатації водогрійних котлів типу КВГМ-20.

## 1 РЕЗУЛЬТАТИ ОБСТЕЖЕННЯ ОБ'ЄКТУ

### 1.1 Конструктивні та технологічні характеристики котла КВГМ-20, основного та допоміжного обладнання

Котел водогрійний газомазутний КВГМ-20 (рисунок 1.1) ст. № 8 РК «Веркон», заводський № 1726, реєстраційний № 2313 теплопродуктивністю 20 Гкал/год призначений для нагріву води систем тепlopостачання до 150°C, має топкову камеру з горизонтальним потоком топкових газів і конвективну шахту.

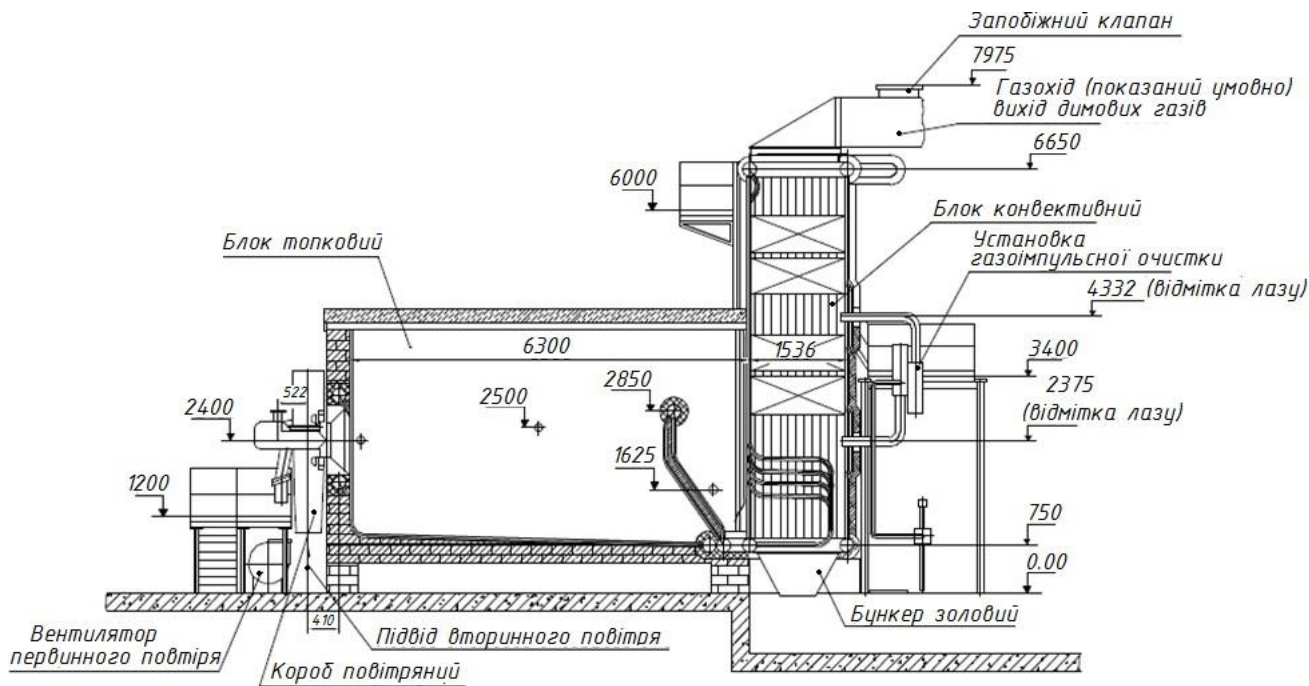


Рисунок 1.1 – Котел водогрійний газомазутний КВГМ-20

Димові гази, що виникають в топці котла, рухаються в задню частину, де на поворотному екрані завихрюються і знизу через фестон заднього екрану топки входять в конвективну шахту, де піднімаються вгору, а потім по спеціальному газоходу опускаються до димососа і через димову трубу викидаються в атмосферу. Блоки котла – топковий і конвективний – мають опори, приварені до нижніх колекторів. Опори, розміщені на стику конвективного блоку і топкової камери, нерухомі.

Котел призначений для спалювання газу і мазуту. Пальник встановлюється на повітряному коробі котла, який кріпиться на фронтальному екрані до вертикальних колекторів.

Циркуляція води примусова. Зворотна мережева вода подається в котел і там послідовно проходить всі поверхні нагріву, нагрівається і знову йде в систему тепlopостачання.

Основні технічні дані котла КВГМ-20:

Теплова продуктивність: 23,26 МВт;

Температура води на вході, °C

на газі 70 °С

на мазуті 70 °С

Температура води на виході, 150 °С

Витрата води 247 т/год

Гідравлічний опір 0,226 МПа.

ККД котла при номінальному навантаженні (брутто),%

на газі 91,9 %

на мазуті 88 %

Витрата палива

на газі 2520 нм<sup>3</sup>/год

на мазуті 2450 кг/год

Температура газів, що відходять, °С

на газі 190 °С

на мазуті 242 °С

#### 1.1.1 Конструктивні характеристики котла

Топкова камера призначена для спалювання мазуту і природного газу.

Стіни топкової камери повністю екрановані трубами діаметром 60х3 мм з кроком 64 мм. Труби екранів приварюються безпосередньо до колекторів діаметром 219х10 мм. В задній частині топкової камери є проміжна екранована стінка, що утворює камеру догорання. Екрани проміжної стінки виконані також із труб діаметром 60х3 мм, але встановлені у два ряди з кроком  $S_1=128$  мм і  $S_2=182$ мм. Конвективна поверхня нагріву розміщена в вертикальній шахті з повністю екранованими стінками. Задня і передня стіни виконані із труб 60х3 мм з кроком 64 мм. Бокові стіни екрановані вертикальними трубами діаметром 83х3,5 мм з кроком 128 мм. Ці труби слугують також стояками для труб конвективних пакетів, які набираються із U-подібних ширм із труб 28х3 мм.

Ширми розміщені таким чином, що труби утворюють шахматний пучок з кроком  $S_1=64$  мм і  $S_2=40$  мм. Передня стінка шахти, яка одночасно є задньою стінкою топки, виконана суцільнозварною. В нижній частині стіни труби розведені в чотирьохрядний фестон з кроком  $S_1=256$  мм і  $S_2=180$  мм. Труби, що утворюють передню, бокові і задню стіни конвективної шахти, вварені безпосередньо в колектори 219х10 мм.

Котел має полегшену трубну обмурівку, несучого каркасу немає. Цегляна кладка є тільки під трубами подового екрану і на фронтівій стіні, в якій викладається амбразура пальника.

Конструктивні характеристики представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Конструктивні характеристики котла

Топка	
Об'єм топки, м <sup>3</sup>	61,2
Поверхня стін, м <sup>2</sup>	114,2
Радіаційна поверхня нагріву, м <sup>2</sup>	106,6
Діаметр труб, мм	60x3
Фестон(розміщення труб шахматне)	
Діаметр труб, мм	60x3
Поперечний крок труб, мм	256
Повздовжній крок труб, мм	180
Поверхня нагріву, м <sup>2</sup>	10,3
Число рядів труб	4
Перетин для проходу газів, м <sup>2</sup>	4,03
Конвективний пучок – шахта(розміщення труб шахматне)	
Діаметр труб, мм	28x3
Число рядів труб	64
Поперечний крок труб, мм	64
Повздовжній крок труб, мм	42
Поверхня нагріву, м <sup>2</sup>	406,5
Перетин для проходу газів, м <sup>2</sup>	2,57

Схема циркуляції теплоносія наступна: зворотна мережева вода з температурою 70°C мережевим насосом подається в верхній колектор фронтального екрану. Після ряду підйомно-опускних рухів вода знову попадає в верхній колектор фронтального екрану, звідки двома перепускними трубами розподіляється між лівим і правим боковим екраном. Попадаючи в верхній колектор бокових екранів, після ряду підйомно-опускних рухів, вода з нижнього колектора через перепускні труби потрапляє в нижній колектор поворотного(проміжного) екрану. Піднявшись і опустившись, вода із нижнього колектора поворотного екрану надходить до нижнього колектора фестонного екрану. Після ряду підйомно-опускних рухів вода із верхнього колектора фестонного екрану поступає в верхній колектор правої бокової стіни конвективної шахти. По стоякам і U-подібним пакетам секцій вода проходить зверху вниз праву бокову стінку шахти і із нижнього колектора переходить в нижній колектор задньої стіни конвективної шахти. Після ряду підйомно-опускних рухів із верхнього колектора заднього екрану вода переходить в верхній колектор лівої бокової стіни конвективної шахти, і пройшовши по стоякам і U-подібним ширмам зверху вниз, вода з нижнього колектора з температурою 150°C надходить в теплову мережу. Схема циркуляції зображена на рисунку 1.2.





Продовження таблиці 1.2

1	2
Потужність електродвигуна, кВт	37
Частота обертання, об/хв	950
Мережеві насоси	
Тип	ЦН-400-105
Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	400
Напір, кгс/м <sup>2</sup>	105
Потужність електродвигуна, кВт	200
Частота обертання, об/хв	1450
Насоси підживлення	
Тип	К 45/30
Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	45
Напір, кгс/м <sup>2</sup>	30
Потужність електродвигуна, кВт	11
Частота обертання, об/хв	2900

#### 1.1.2. Опис штатної пальникової системи

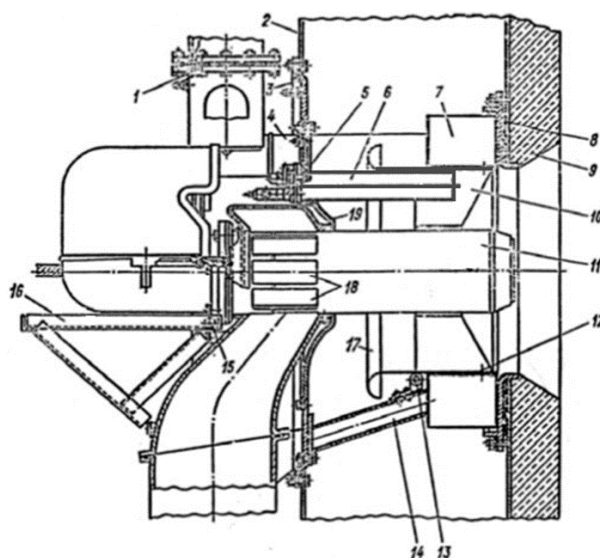
Котел КВГМ-20 обладнаний одним газомазутним пальником типу РГМГ-20 продуктивністю 2520 м<sup>3</sup>/год газу або 2360 кг/год мазуту. Пальник встановлений на повітряному коробі котла, який кріпиться на фронтальному екрані до вертикальних колекторів.

Відмінною особливістю пальника є наявність автономного регулятора первинного повітря і беззавликове підведення вторинного повітря. Основними вузлами пальникового пристрою являються: ротаційна форсунка, газова частина периферійного типу, повітрянаправляючий пристрій первинного повітря і повітровід первинного повітря. Повітрянаправляючий пристрій вторинного повітря складається із повітряного короба, завихрювача аксіального типу з профільними лопатками, встановленими під кутом 40°, і переднього кільця, що утворює гирло пальника. Газова частина пальника периферійного типу складається із газороздаючої кільцевої камери з однорядною системою газовидаючих отворів одного діаметру. Основні характеристики штатного пальника представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Основні характеристики пальника РГМГ-20 на номінальній продуктивності.

Показники	Значення величин
Теплова потужність пальника, МВт(Гкал/год)	25,9(22,2)
Витрата палива: Мазут марки М-100 по ГОСТ 10585-75, кг/год	2360
Природний газ, м <sup>3</sup> /год	2520
В'язкість мазуту, ВУ	6,0-8,0
Тиск мазуту перед форсункою, кПа(кг/см <sup>2</sup> )	156,8(1,60)
Тиск природного газу перед пальником, Па(кгс/м <sup>2</sup> )	40000(4000)
Аеродинамічний опір пальника по первинному повітрі, Па(кгс/м <sup>2</sup> )	7160(730)
Аеродинамічний опір пальника по вторинному повітрі, Па(кгс/м <sup>2</sup> )	1470(150)
Потужність електродвигуна форсунки, кВт	2,2
Температура повітря, °С	10-50
Потужність електродвигуна вентилятора первинного повітря, кВт	10
Маса пальника, кг	635

Схематичне зображення газо-мазутного пальника РГМГ-20 наведено на рисунку 1.3.



1 – газопровід; 2 – повітряний короб; 3 – кільце рами; 4 – газова труба; 5, 6 – труба встановлення запального захисного пристрою і фотодатчика; 7 – газова камера; 8 – переднє кільце повітренаправляючого пристрою; 9 – конічний керамічний тунель (амбразура); 10 – завихрювачі повітренаправляючого пристрою; 11 – ротаційна форсунка; 12 – газові випускні отвори; 13 – рамка для центрування завихрювала вторинного повітря; 14 – опорна труба; 15 – підшипник направляючої рами; 16 – направляюча рама; 17 – повітряний шибер; 18 – вікно для підведення повітря до завихрювача; 19 – кришка пальника

Рисунок 1.3 – Пристрій ротаційного газо-мазутного пальника РГМГ-20

### 1.1.3 Контрольно-вимірювальні прилади, автоматичні регулятори, технологічні захисти і блокування

Водогрійний котел обладнаний наступними контрольно-вимірювальні прилади:

- що показують:
  - розрідження в топці котла,
  - тиск мережної води до котла,
  - тиск мережної води після котла,
  - температура мережної води після котла,
  - тиск газу за регулятором,
  - витрата мережної води через котел;
- що реєструють:
  - тиск газу в загальному колекторі,
  - витрата газу на котел,
  - температура мережної води до і після котла,
  - температура відхідних газів,
  - витрата мережної води,
  - вміст кисню в відхідних газах.

Схема автоматичного регулювання котла містить у собі наступні регулятори:

- тиску газу на котел;
- розрідження в топці.

Усі захисти виконані з використанням одного датчика чи одного вимірювального комплексу. Для ручної аварійної зупинки котла на груповому щиті передбачений ключ. У залежності від характеру аварії захисти виконують:

- зупинку котла;
- локальні операції.

На щит керування котлом винесені сигнали відхилення основних технологічних параметрів від установлених значень, що викликають включення світлових табло і звукового сигналу:

- підвищення і зниження температури мазуту перед котлом;
- зниження температури води за котлом;
- зниження тиску газу перед пальниками;

## **1.2 Загальні умови проведення та результати дослідних випробувань котла зі штатним пальником**

### **1.2.1 Загальний алгоритм проведення випробувань**

1. Заповнення опитувального листа.
2. Обстеження котлоагрегату на наявність пошкоджень, протічок і т.ін.
3. Запуск котла на штатному пальникові.
4. Початок замірів об 11:00.
5. Зміна режиму роботи котлоагрегату (вихід на режим впродовж 30 хв.) і проведення замірів для 3 режимів.
6. Документація замірів.

### **1.2.2 Методологія проведення випробувань котла та вимірювань величин**

Оцінка використання пальників трубчатого типу проводиться на основі порівняння показників роботи котла з новими і старими пальниками на всьому діапазоні робіт котельного агрегату (30 – 100% встановленої потужності котельного агрегату).

Перед проведенням порівняльних випробувань проводиться уточнення режимної карти при роботі котла:

- з штатними пальниками;
- з новими пальниками трубчатого типу.

Під час проведення монтажних та пусконаладжувальних робіт, а також перед початком випробувань з допомогою фотозйомки фіксується стан зовнішніх поверхонь нагріву, стан змонтованого обладнання та підвідних комунікацій тощо.

Порівняльні випробування для кожного режиму (при роботі котла з штатними пальниками і при роботі з новими пальниками) проводяться в обсязі одержання інформації для розрахунку ККД за зворотнім балансом, оскільки прилад, що реєструє витрату газу на котел має індикаторний клас точності.

Контроль за роботою котла здійснюється по штатним приладам.

Під час проведення випробувань фіксуються наступні параметри (по штатним приладам):

- витрата мережної води;
- температура та тиск мережної води на вході в котел;
- температура та тиск мережної води на виході з котла;
- температура холодного повітря;
- температура відхідних газів;
- тиск повітря перед пальниками;
- розрідження в топці;

- коефіцієнт надлишку повітря;
- витрати газу;
- тиск газу за РК;
- тиск газу на пальники.

Додатково вимірюються:

$O_2$ ,  $NO_x$ ,  $CO$ ; температура газів, факела та пальників.

### 1.2.3 Методика розрахунку ККД бруто котла за зворотнім балансом

За результатами, отриманими під час випробувань, згідно [5] будуть зроблені розрахунки основних техніко-економічних показників котла.

1) Теплопродуктивність котла визначається за формулою, кВт

$$Q_{ка} = G_{мв} \cdot c_{мв} \cdot (t_{мв}'' - t_{мв}'), \quad (1.1)$$

де:  $G_{мв}$  - витрата мережної води, кг/с;

$c_{мв}$  – теплоємність мережної води, кДж/кг,  $c_{мв} = 4,187$  кДж/кг;

$t_{мв}''$  - температура мережної води на виході з котла, °С;

$t_{мв}'$  - температура мережної води на вході в котел, °С.

2) ККД котла бруто за зворотнім балансом  $\eta_{бр}$  визначається за формулою (при спалюванні природного газу), %

$$\eta_{бр} = 100 - \Sigma q, \quad (1.2)$$

де  $\Sigma q$  - сума втрат тепла, розраховується за формулою, %

$$\Sigma q = q_2 + q_3 + q_5, \quad (1.3)$$

де  $q_2$  - втрати тепла з відхідними газами, %;

$q_3$  - втрати тепла з хімічним недопалом, %;

$q_5$  - втрати тепла від охолодження зовнішніх поверхонь котла, %;

3) Величина втрати тепла з відхідними газами  $q_2$  визначається за формулою (при спалюванні природного газу), % [6]

$$q_2 = (3,53 \cdot \alpha_{відх} + 0,6) \cdot (t_{відх} - \frac{\alpha_{відх}}{\alpha_{відх} + 0,18} \cdot t_{х пов}) \cdot (0,9805 + 0,00013 \cdot t_{відх}) \cdot 10^{-2}, \quad (1.4)$$

де  $t_{х пов}$  - температура холодного повітря, визначається за формулою, °С

$$t_{х пов} = t_{з пов} + \Delta t_{дв}, \quad (1.5)$$

де  $t_{з пов}$  температура зовнішнього повітря, °С, визначається шляхом виміру;

$\Delta t_{дв}$  – нагрів повітря в дуттьових вентиляторах, °С.

$\alpha_{відх}$  – коефіцієнт надлишку повітря в відхідних газах за останньою поверхнею нагріву котла, визначається шляхом виміру, газоаналізатором.

4) Величина втрат тепла з хімічним недопалом визначається за формулою:

При відсутності в продуктах згоряння метану, % [6]

$$Q_3 = \frac{35 \cdot CO}{CO + CO_2}, \quad (1.6)$$

де  $CO$  - концентрація оксиду вуглецю в продуктах згоряння, %, вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором;

$CO_2$ - концентрація двооксиду вуглецю в продуктах згоряння, %, вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором.

При наявності в продуктах згоряння метану, % [6]

$$q_3 = (3,02 \cdot CO + 2,58 \cdot H_2 + 8,55 \cdot CH_4) \cdot h, \quad (1.7)$$

де  $H_2$  - концентрація водню в продуктах згоряння, %, вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором;

$CH_4$  - концентрація метану в продуктах згоряння, %, вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором;

$h$  - коефіцієнт розведення продуктів згоряння, %, визначається за формулою: [6]

$$h = \frac{RO_2^{max}}{RO_2 + CO_2 + CH_4}, \quad (1.8)$$

де  $RO_2$  - об'ємний вміст трьохатомних газів в сухих продуктах згоряння, %, вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором;

$RO_2^{max} = 11,8\%$  - максимальний об'ємний вміст трьохатомних газів в сухих продуктах згоряння при відсутності хімічної та механічної неповноти згоряння та  $\alpha = 1,0\%$ .

5) Втрати теплоти від охолодження зовнішніх поверхонь котла  $q_5$  дорівнює 0,05% в усьому діапазоні навантажень.

6) Витрата газоподібного палива,  $m^3/\text{год}$ , за зворотним балансом визначається за формулою:

$$B_{\Pi} = 3600 \cdot \frac{Q_k}{Q_n^p \cdot \eta}, \quad (1.9)$$

де  $Q_k$  - теплове навантаження котла, кВт

$Q_n^p$  - нижча теплота згоряння палива, кДж/ $m^3$ ;

$\eta$  - ККД котла (брутто).

7) Витрата умовного палива на вироблення тепла,  $kg/\text{год}$ , визначається за формулою:

$$B_{уп} = B_{\Pi} \cdot Q_n^p / 29300 \cdot \eta, \quad (1.10)$$

де  $Q_n^p$  - нижча теплота згоряння палива, кДж/ $kg$ ;

29300 кВт/ $kg$  - нижча теплота згоряння палива, кДж/ $kg$ ;

$\eta$  - ККД котла (брутто).

#### 1.2.4 Методика визначення концентрації оксидів азоту та вуглецю

1) Виміри і розрахунки концентрації шкідливих речовин проводяться відповідно до рекомендацій [6].

2) Масова концентрація оксидів азоту (оксидів вуглецю) в відхідних газах при коефіцієнті надлишку повітря рівному одиниці, визначається за формулою,  $\text{мг/м}^3$

$$C_{\alpha-1} = C \cdot h, \quad (1.11)$$

де  $C$  - масова концентрація оксидів азоту (оксидів вуглецю),  $\text{мг/м}^3$ ;

$h$  - коефіцієнт розбавлення;

3) Питомі викиди оксидів азоту (оксидів вуглецю),  $\text{мг/кВт} \cdot \text{год}$ , визначаються за формулою

$$b = \frac{3,6 \cdot C_{\alpha=1} \cdot (100 - q_4)}{Q_{\text{н}}^{\text{п}} \cdot \eta}, \quad (1.12)$$

де  $\eta$  - ККД котла, %;

$q_4$  - втрати тепла з механічним недопалом, %;

4) Визначення секундного викиду,  $\text{мг/с}$

$$M_{\text{с}} = \frac{b \cdot Q_{\text{к}}}{3600}, \quad (1.13)$$

де  $Q_{\text{к}}$  - теплопродуктивність котла,  $\text{кВт}$ .

### 1.3 Результати досліджень аеродинамічних та теплових властивостей робочого процесу котла за допомогою 3D моделі

Взявши за основу наявні дані за допомогою програмного забезпечення SolidWorks була побудована 3D модель штатного пальника типу РГМГ-20 (рисунок 1.4) та топки (рисунок 1.5).

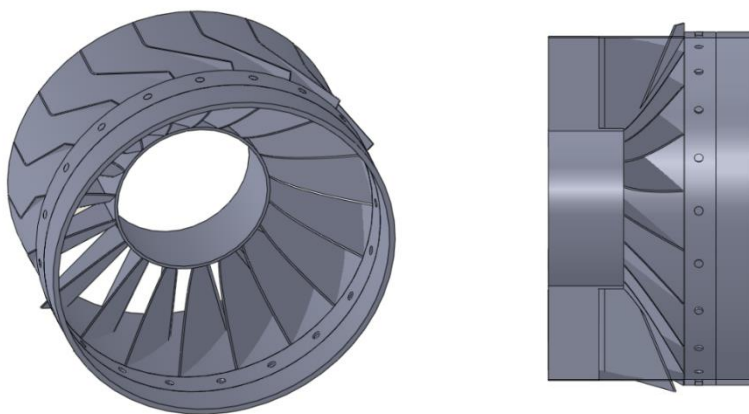


Рисунок 1.4 – Модель штатного пальника РГМГ-20

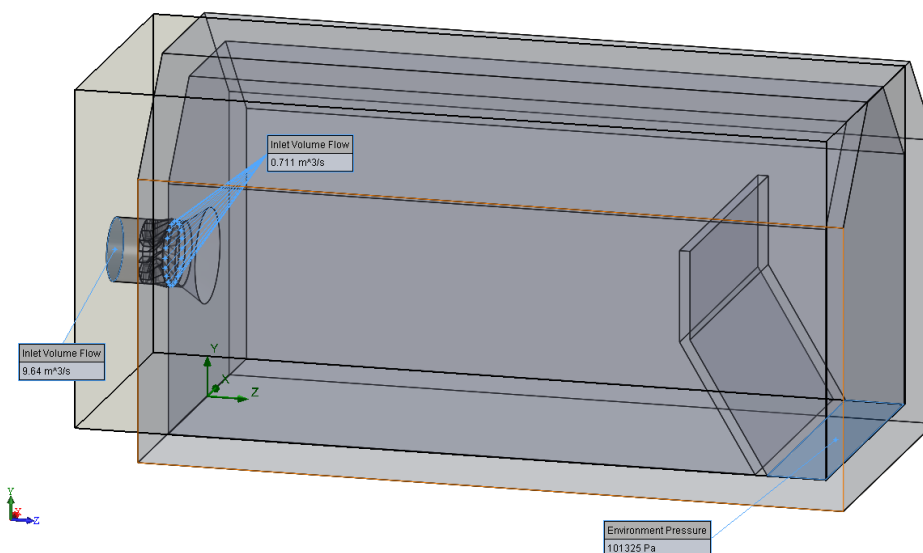


Рисунок 1.5 – Модель топки котла з штатним пальником типу РГМГ-20

Для побудованої моделі топки з штатним пальником були задані наступні початкові умови (рисунок 1.5), а саме:

Витрата газу –  $0,711 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

Витрата повітря –  $9,64 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

Тиск на виході з топки –  $101325 \text{ Па}$ .

При цьому вважаємо, що стехіометричний коефіцієнт  $\alpha = 1,4$ .

В місцях виходу потоків (повітря і газу) та інтенсивного сумішоутворення була уточнена розрахункова сітка (рисунок 1.6), яка знизить похибку розрахунку.

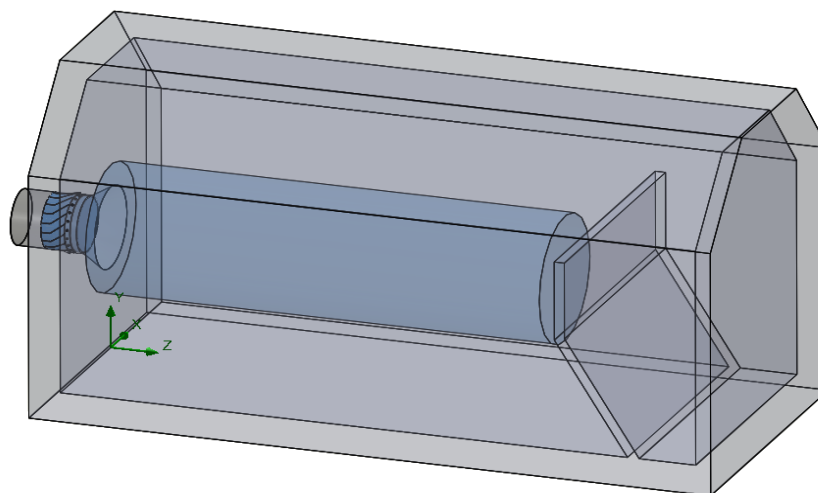


Рисунок 1.6 – Уточнення розрахункової сітки

Результати моделювання аеродинамічних і теплових процесів та розрахунків представлені на рисунках 1.7 – 1.10.



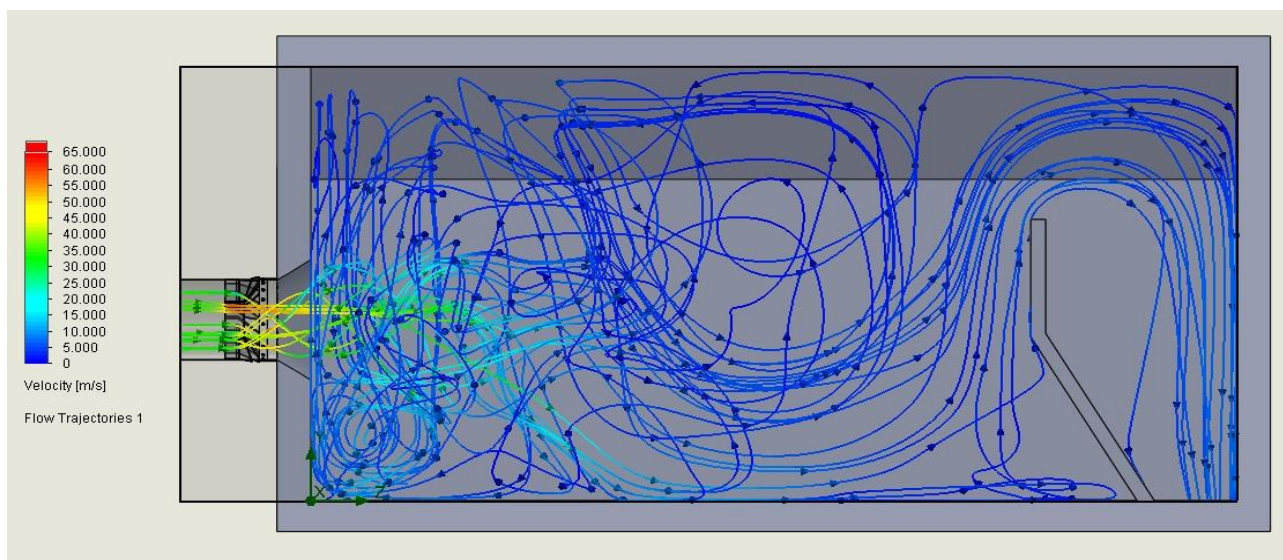


Рисунок 1.7 – Траєкторії руху потоків

Поле швидкостей газоповітряної суміші штатного пального має нерівномірний розподіл у топці котельного агрегату (рисунок 1.8.). Первинне повітря, яке проходить крізь центральний отвір пального, має прямолінійний характер течії і найбільшу швидкість. Вторинне повітря, яке проходить через повітренаправляючий пристрій, завихрюється і спричиняє рух гарячого потоку продуктів згорання в напрямку екранів, що викликає перегорання екранних труб та надмірне їх старіння.

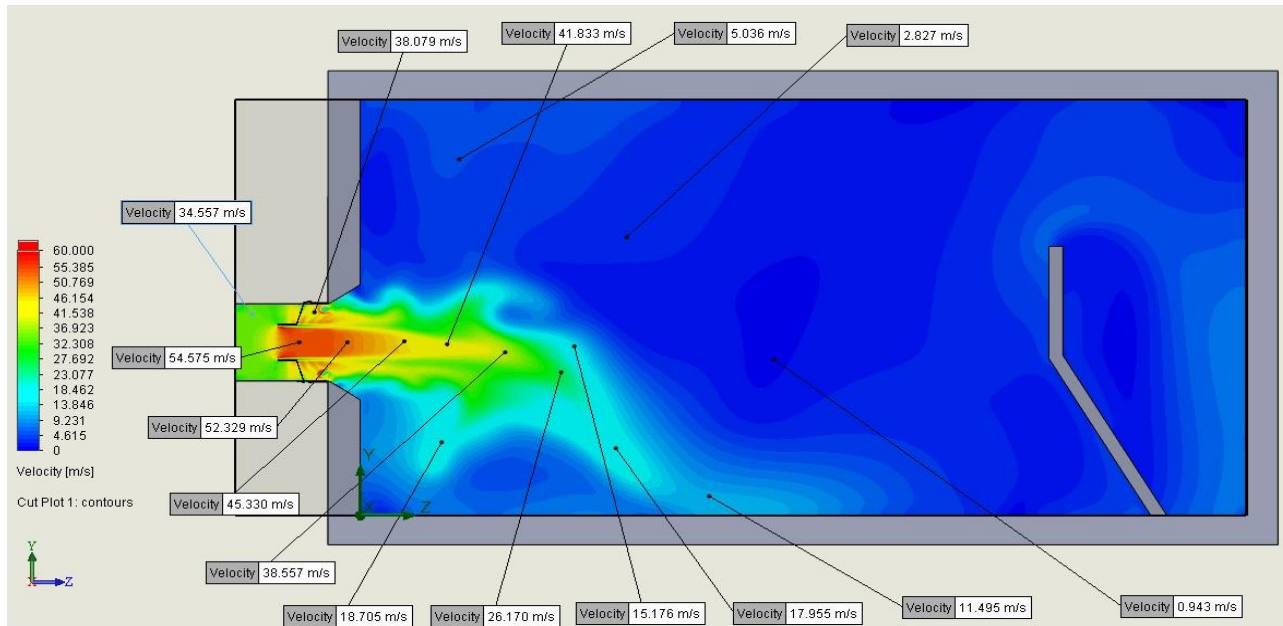


Рисунок 1.8 – Розподіл швидкостей в топці

Як видно з рисунку 1.8, подача газу перпендикулярно руху повітря створює деякі перешкоди цьому потоку і призводить до збільшення аеродинамічного опору пального.

Результати математичного моделювання аеродинамічних процесів у топці підтверджуються розрахунками. Значення середньої швидкості газоповітряної суміші на виході

з пального пристрою, отриманої з моделі і розрахункові значення швидкості майже однакові. Це свідчить про адекватність моделі.

Як видно з рисунка 1.9, при роботі котла на штатному пальному пристрої має місце нерівномірний розподіл концентрацій газу на вході у топку котельного агрегату. Основний центральний потік повітря стрімко рухається і погано перемішується з газом. Вторинне повітря завихрюючись, відносить газ від основного потоку. Таким чином газ ніби огортає повітряний потік, не поступаючи в гирло потоку. Тому для штатної пальної системи характерні високі значення коефіцієнтів надлишку повітря.

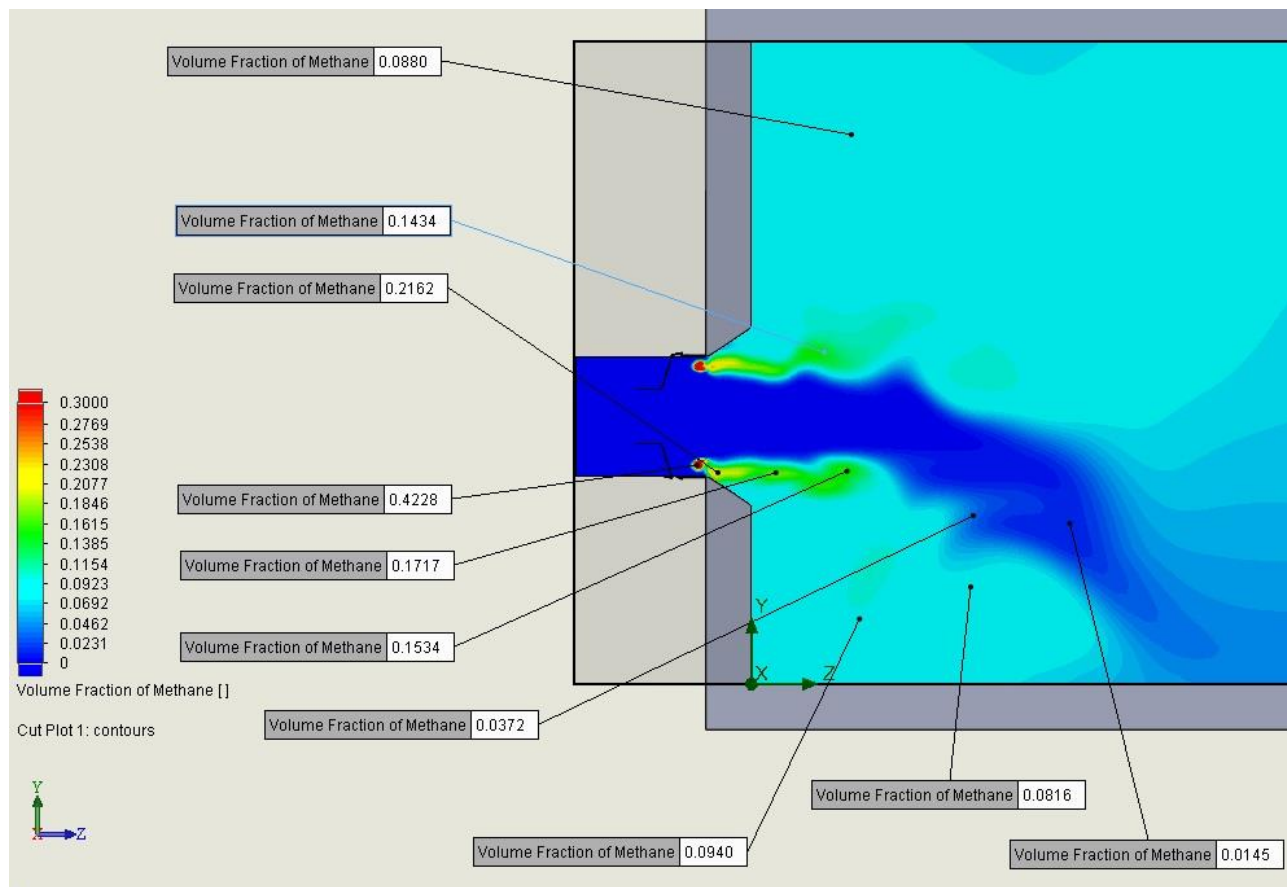


Рисунок 1.9 – Розподіл об'ємної частки метану в топці

Це призводить до збільшення втрат з відхідними газами. Оптимальна концентрація досягається на відстані 2 м від амбразури пальника. Нерівномірний розподіл газу є причиною утворення монооксидів вуглецю  $CO$  навіть при значеннях коефіцієнту надлишку повітря значно більших за одиницю. Нерівномірний розподіл температур по об'єму топки котлоагрегату сприяє локальному підвищенню температури продуктів згорання. Через це, в цих зонах утворюються оксиди азоту ( $NO_x$ ).

Аналізуючи розподіл швидкостей газоповітряної суміші та концентрацій газу у топці котлоагрегату КВГМ-20 можна зробити висновок, що за рахунок неякісного сумішоутворення та нерівномірного температурного поля у зоні спалювання суміші робота котла на штатному

пальниковому пристрої характеризується високим коефіцієнтом надлишку повітря, низьким ККД, високими значеннями питомих викидів шкідливих речовин у атмосферу, нерівномірним тепловим навантаженням та наявністю різних зон, як перегріву, так і недогріву поверхонь топки котла.

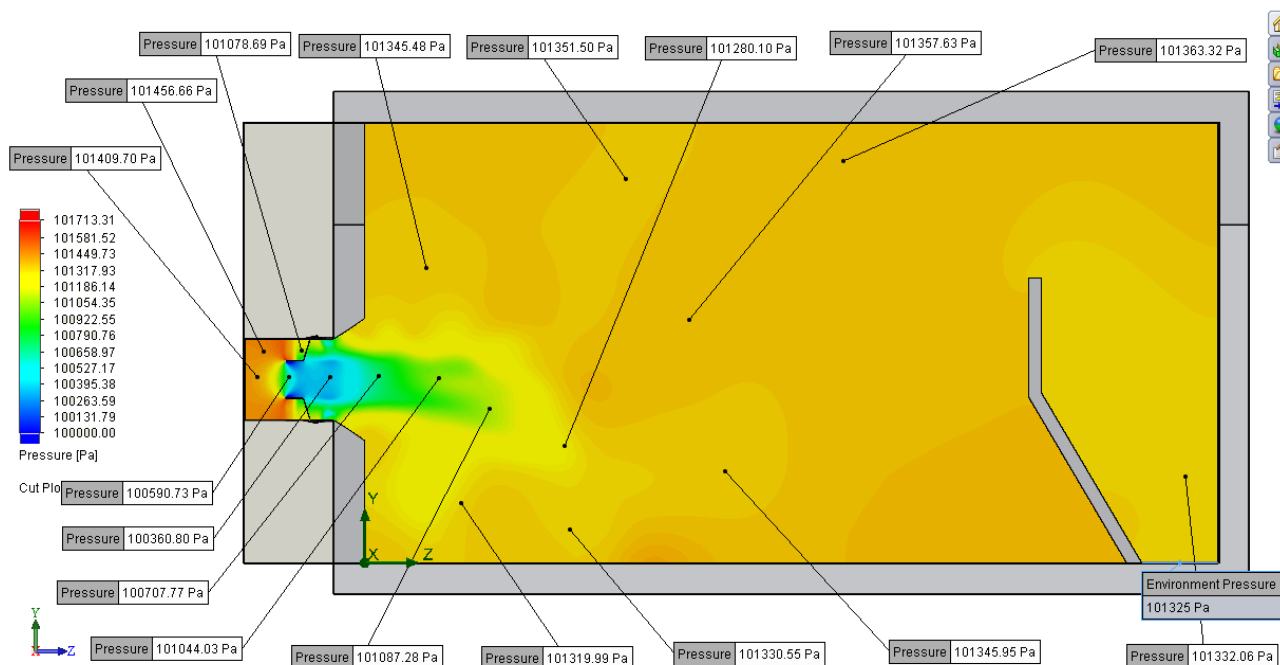


Рисунок 1.10 – Розподіл тиску в топці

Вирішити ці проблеми можна за рахунок впровадження вітчизняної високоефективної і екологічно «чистої» вітчизняної технології газоспалювання – мікрофакельної технології спалювання (МТС) газоповітряної суміші.

#### 1.4 Висновки до розділу 1

В розділі 1 наведені наступні дані:

- 1) конструктивні та технологічні характеристики котла КВГМ-20, а також його основного та допоміжного обладнання;
- 2) Загальні умови дослідних випробувань, методика та результати розрахунків роботи котла зі штатним пальником;
- 3) Дослідження аеродинамічних та теплових властивостей процесу в топці котла за допомогою комп'ютерної моделі.

Згідно з отриманими результатами, котел зі штатним пальником РГМГ має ряд недоліків, тому потребує модернізації.

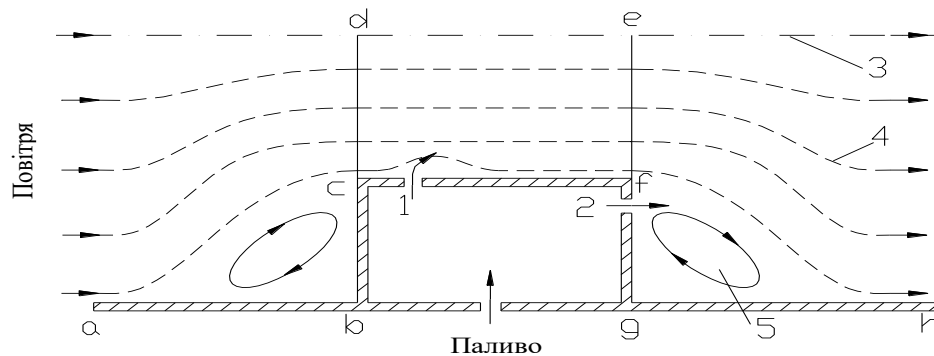
## 2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ

## 2.1 Основи мікрофакельної технології газоспалювання

Для парових та водогрійних котлів встановлені відомі вимоги до палинкових систем, а саме: універсальність, надійність, стійкість запалювання і стабілізація фронту горіння в широких межах, забезпечення сумішоутворення заданої інтенсивності, забезпечення повноти згорання газу при мінімальному коефіцієнті надлишку повітря, ремонтпридатність, висока енерго-екологічна ефективність, незначний термін модернізації та окупності.

Модернізацію пальногої системи котла КВГМ-20 запропоновано реалізувати на базі мікрофакельної технології газоспалювання (МТС) [7], оскільки ця технологія відповідає всім поставленим вимогам.

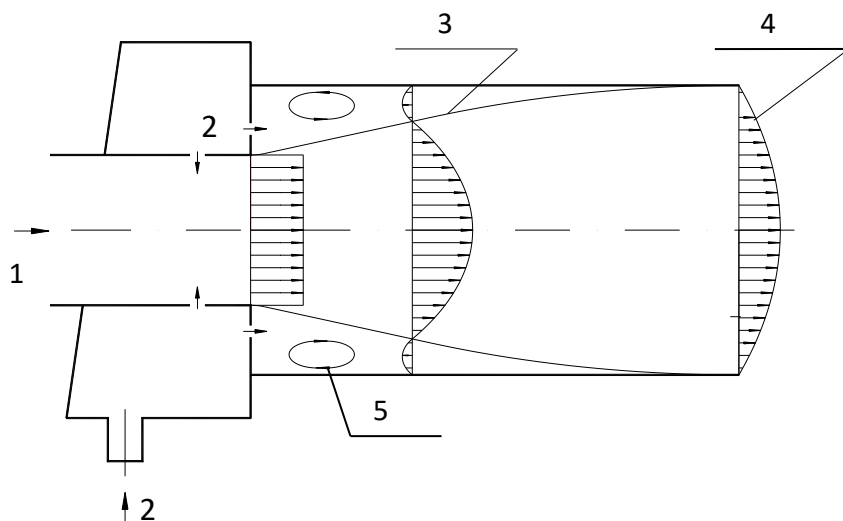
Основною особливістю МТС є раціональне використання аеродинамічних ефектів течії в насадку Борда, що є основним конструктивним елементом пальників мікрофакельного типу [8] (рисунок 2.1).



1 – попередня подача палива; 2 – дифузійна подача палива; 3 – вісь симетрії;  
4 – лінії потоку повітря; 5 – тороїдальний вихор (стабілізатор сумішеутворення та  
спалювання)

Рисунок 2.1 – Принципова схема функціонування насадку Борда

Вибір насадка Борда як базового елемента нової технології організації горіння вуглеводневих палив обумовлений тим, що гідравлічні і аеродинамічні характеристики такого елемента сприяють реалізації «канонічних» принципів мінімізації токсичності пальників (попереднє сумішоутворення, стадійне горіння, прямоточна аеродинамічна схема). Інтенсифікація процесу сумішоутворення і стабілізація процесу горіння відбувається за рахунок існування кільцевої циркуляційної течії (вихору-стабілізатора), яка виникає у насадку Борда (зона вторинних течій на рисунку 2.2.).



1 – окисник; 2 – паливо; 3 – лінія нульових швидкостей; 4 – епюр швидкості;  
5 – вихор-стабілізатор

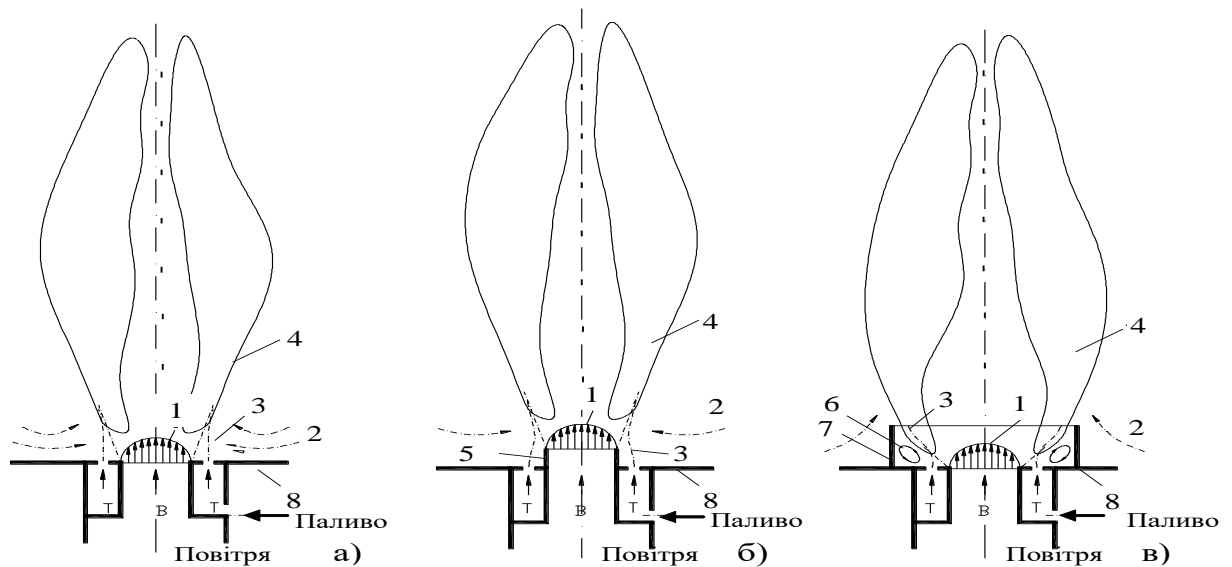
Рисунок 2.2 - Схема трубчастого модуля на базі насадки Борда

Трубчасті модулі, як і кутові стабілізатори і пілони, утворюють так називані регулярні паливоспалюючі системи, що додають універсальності конструкції пальників на базі МТС-технології. Однак, при використанні трубчастих модулів у порівнянні з плоскими стабілізаторами виникає додатковий “компоновочний” ефект, що сприяє інтенсифікації тепло-масообмінних процесів.

Трубчасті модулі можуть бути виконані без та з внутрішнім і зовнішнім насадками (рисунок 2.3), є можливість подачі палива для попереднього, дифузійного та комбінованого сумішоутворення [8].

При використанні трубчастого модуля без насадка (рисунок 2.3а) має місце сильна аерація кореня факела (за рахунок ежекції навколишнього повітря), у результаті чого факел відривається від зрізу повітряного каналу і зависає на деякій відстані від трубної дошки 8.

При наявності внутрішнього насадка (рисунок 2.3б) рівень ежекції до кореня факела зменшується, однак відрив факела від зрізу внутрішнього насадка залишається. [9]



- 1- епюр швидкості; 2 – ежекція повітря; 3 – вісь газового струменя; 4 – область горіння;  
 5 – внутрішній насадок; 6 – тороїдальний вихор-стабілізатор факелу;  
 7 – зовнішній насадок; 8 – трубна дошка

Рисунок 2.3 – Схеми розвитку дифузійних факелів у трубчастому модулі

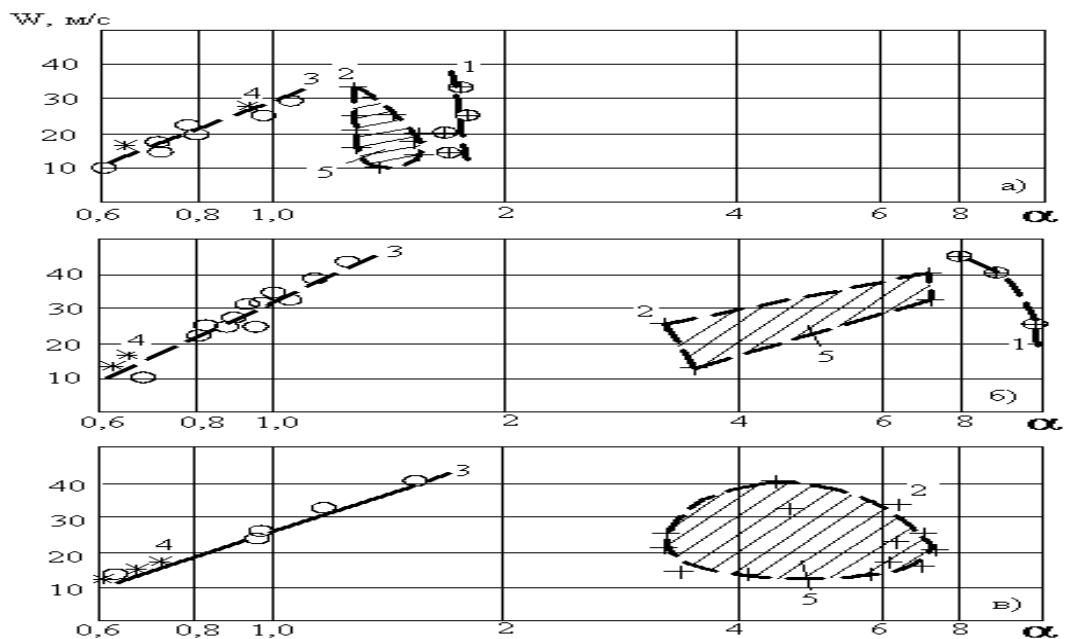
- а) – трубчастий модуль без насадка; б) – трубчастий модуль із внутрішнім насадком;  
 в) – трубчастий модуль із зовнішнім насадком

У випадку застосування зовнішнього насадка (рисунок 2.3,в) ефект ежекції повітря до кореня факела практично зникає і при цьому реалізується додатковий ефект, у результаті дії якого істотно розширюються границі повітряного струменя в початкових перетинах факела. У цьому випадку виникають вторинні течії 6 (тороїдальні вихори) у периферійній частині зовнішнього насадка 7, що виконує функції форкамери і підвищує стійкість горіння та стабілізує факели спалювання. Особливістю мікрофакельної технології спалювання (МТС) є те, що при одноструменевій подачі повітря і багатоструменевій подачі палива реалізується ефект “обволакування” газовими струменями центрального повітряного струменя. У результаті інтенсивного перемішування в прикордонному шарі повітряного струменя виникають сминаючі локальні дифузійні факели, що утворюють практично однорідну інтегральну систему факелів. При багатомодульному виконанні пальників відсутня необхідність в установці на кожному модулі зовнішнього насадка, тому що в цьому випадку існує природна зона розділу між сусідніми модулями, яка виконує усі позитивні функції зовнішнього насадка. Однією з особливих властивостей факельних систем на базі трубчастих модулів є їх конструктивна та технологічна простота в поєднанні з можливістю застосування різних методів сумішоутворення в тому числі: дифузійного, попереднього та комбінованого [10].

При дифузійному змішуванні палива й повітря (елементи ТМД) сумішоутворення може відбуватися як по класичній схемі коаксіальних струменів (центральный повітряний – периферійний (кільцевий) газовий), так і по методу дотичних струменів (коли навколо центрального повітряного струменя розвивається система газових струменів меншого діаметру, що розташовані на торцевій поверхні  $f - g$  (рисунок 2.1). В обох випадках схема підводу палива адекватно вписується в зону максимальної турбулентності течії. Крім того, в цьому випадку відбувається додаткова турбулізація прикореневої зони за рахунок витікання газових струменів через отвори на торцевій стінці  $f - g$  каналу насадки Борда (рисунок 2.1), що сприяє стабілізації полум'я та факелів у зоні спалювання [10].

Важливе значення мають особливості граничних характеристик спалювання палива (рисунок 2.4). За підсумками комплексних експериментальних досліджень трубчастих модулів різного типу встановлено наявність:

- високої турбулентності основного потоку і додаткової локальної турбулентності при подачі палива через отвори в трубній дошці;
- вторинних плинів (у вигляді тороїдальних вихорів) і високі стабілізаційні властивості спалювання газоподібного палива;
- внутрішньої рециркуляції за рахунок ежекції суміші у зону спалювання.

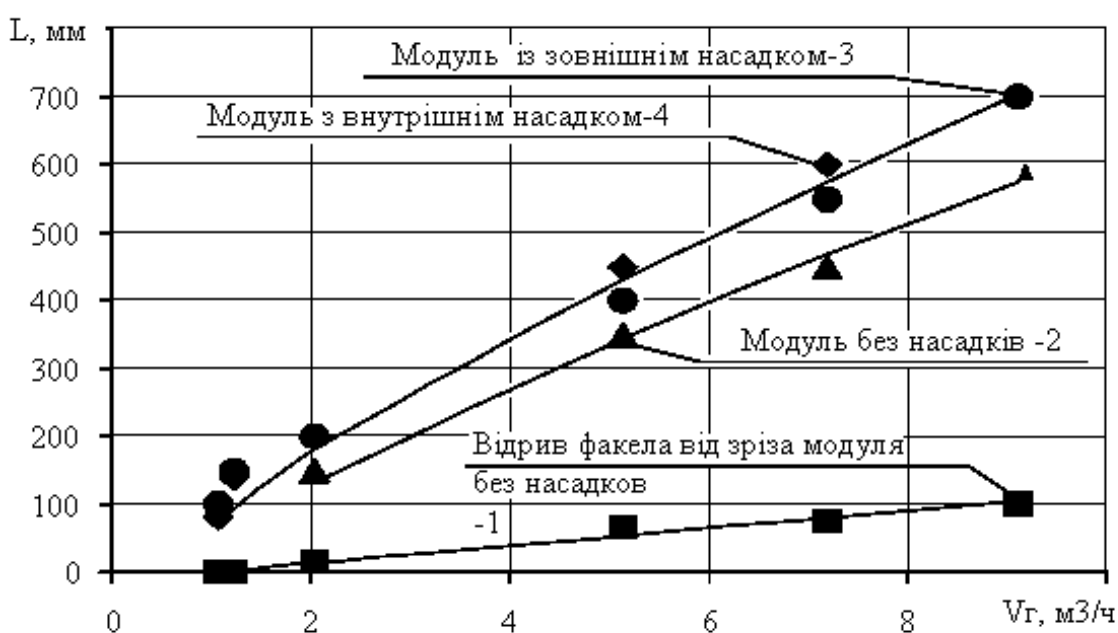


1 – межа бідного зриву; 2 – межа електроіскрового займання; 3 – режими стійкого горіння; 4 – режими багатого зриву; 5 – зона стабільного займання

Рисунок 2.4 – Граничні характеристики горіння природного газу при різних умовах сумішоутворення у трубчастих модулях

а) – модуль ТМП; б) – модуль ТМДН; в) – модуль ТМД)

Ці особливості знижують емісію оксидів азоту [8], сприяють збільшенню товщини прикордонного шару й інтенсифікації тепломасообмінних процесів на початковій ділянці повітряного струменя, дозволяють стабілізувати сумішеутворення й спалювання палива. Дані характеристики мають звичний для теорії та практики згорання вуглеводневих палив вигляд. Самий вузький діапазон стійкої роботи зафіксовано при попередньому сумішеутворенні (рисунок 2.4, а). Області стабільного займання для модулів типу ТМД та ТМДН практично співпадають. Модуль ТМД має значно стійкий діапазон горіння в бідній області (рисунок 2.4, в). При зміні конструктивних особливостей трубчастого модуля змінюється не тільки структура, але і далекобійність факела. Далекобійність факела ( $L$ ) у модулі без насадка (рисунок 2.5) є найменшою.



1- модуль без насадка; 2- модуль без насадка у складі багатомодульного пальника; 3- модуль із зовнішнім насадком; 4- модуль із внутрішнім насадком

Рисунок 2.5 – Аеродинамічні характеристики ( $L$  – далекобійність факелу,  $V_g$  – витрата природного газу) факелів на базі трубчастих модулів

Це обумовлено відзначеною вище аерацією кореня факела, при цьому факел має найбільший відрив від устя струменя. Збільшення далекобійності факелів у модулях з насадками обумовлено не тільки зниженням аерації кореня факела, але і “ламінаризацією” початкової ділянки факела у результаті підвищення його температури [11]. При використанні системи трубчастих модулів у пальниковому пристрої виникають додаткові особливості розвитку факелів. При багатомодульному виконанні пальників відсутня необхідність в установці на кожному модулі зовнішнього насадка, тому що в цьому випадку існує природна зона розділу між сусідніми модулями, яка виконує усі позитивні функції зовнішнього насадка.



## 2.2 Створення 3D моделі пальника нового покоління та результати досліджень

Проектом передбачається заміна існуючого пальникового пристрою на пальниковий пристрій мікрофакельного типу без зміни конструкції та компоновки топкової камери котла. Тому для подальших розрахунків приймаємо значення діаметру амбразури пальникового пристрою 640 мм.

На підставі розробленої методики визначення основних конструктивних характеристик пальникової системи мікрофакельного типу здійснено її розрахунок та наведено основні їх значення (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Характеристики штатного пальника та мікрофакельного газового пальника типу МГП

Найменування параметра	Значення величини для пальника	
	штатного типу РГМГ	типу МГП
1. Площа поперечного перерізу по повітрю, м <sup>2</sup>	0,258	0,131
2. Площа поперечного перерізу по газу, м <sup>2</sup>	0,00353	0,00361
3. Витрата повітря, м <sup>3</sup> /с	34704	27252
4. Витрата газу, м <sup>3</sup> /с	2520	2520
5. Коефіцієнт надлишку повітря	1,4	1,05
6. Швидкість виходу повітря з отвору підводу, м/с	37,36	37,8
7. Швидкість виходу газу з отвору підводу, м/с	201,4	197
8. Діаметр амбразури пальника, мм	640	640

2.2.1 Розробка математичної моделі пальника та визначення основних аеродинамічних характеристик

За допомогою САПР «SolidWorks» був змодельований пальник типу МГП-20 (рисунок 2.4) та експериментальна установка для визначення аеродинамічного опору пальника (рисунок 2.5).

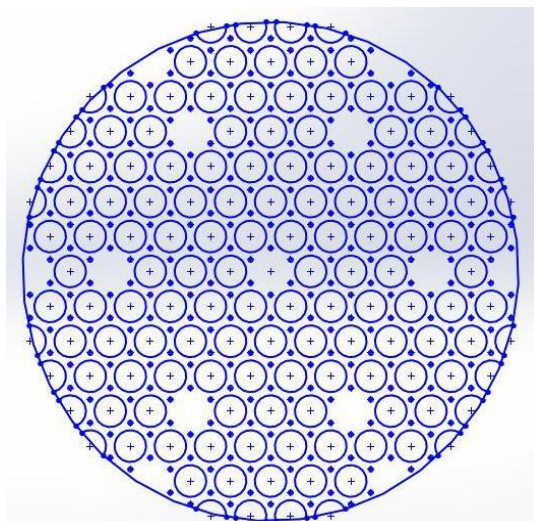


Рисунок 2.6 – Модель пальника типу МГП. Вигляд спереду

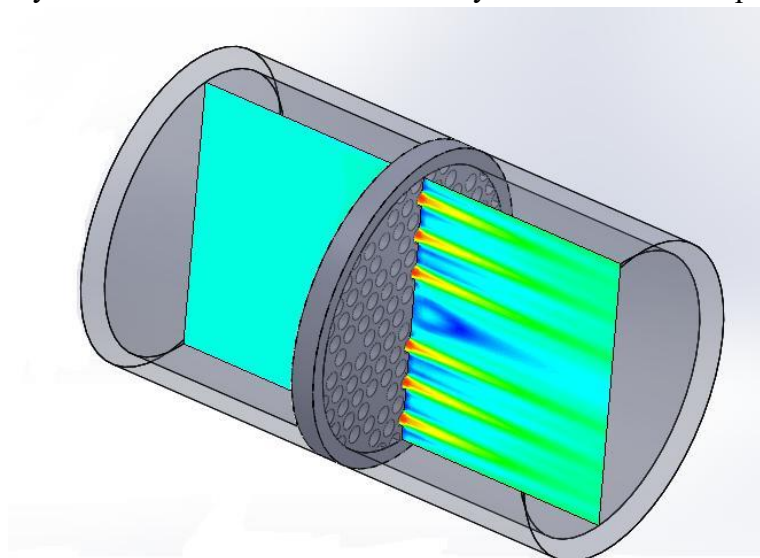


Рисунок 2.7 – Модель експериментальної установки для визначення аеродинамічного опору пальника

За різницею тисків на вході і виході із експериментальної установки був визначений аеродинамічний опір пальника, який становить 1471 Па.

Розрахунок аеродинамічного опору МТС-пальника за відповідною методикою дозволив отримати його значення аналітичним шляхом.

Остаточно розрахункове співвідношення аеродинамічного опору має наступний вигляд, Па

$$\Delta P_{\text{пальн}} = (\xi_{\text{патр}} + \xi_{\text{тр}}) \frac{\rho W_{\text{патр}}^2}{2}, \quad (2.1)$$

а отримане значення опору дорівнює:

$$\Delta P_{\text{пальн}} = 3,59 \cdot 1,205 \cdot 26,75^2 / 2 = 1547 \text{ Па.}$$

Похибка результатів вимірювань аеродинамічного опору пальника на моделі відрізняється від розрахункових значень не більше, ніж на 10%. Це свідчить про адекватність створеної моделі. Тестування моделі відбувалося на реальних величинах, які були отримані під час вимірювань на котлу.

### 2.2.2 Аналіз моделювання аеродинамічних процесів

Для моделювання процесів сумішоутворення в топці з використанням МТС-пальника, була побудована фізична масштабована модель пальника і топки (див. рисунки 2.6 і 2.7). Це дозволило при мінімальних витратах часу і ресурсів комп'ютера якісно оцінити процеси змішування в топці. При побудові фізичної моделі дотримувались такі вимоги:

- відношення витрати газу та витрати повітря до об'єму топки в дійсності і в масштабованій моделі повинні бути незмінними;
- розміщення газових і повітряних отворів та їх поперечний переріз повинні бути незмінними;
- витрати газу і повітря повинні бути такими, щоб їх швидкість на виході з пальника не змінилась.

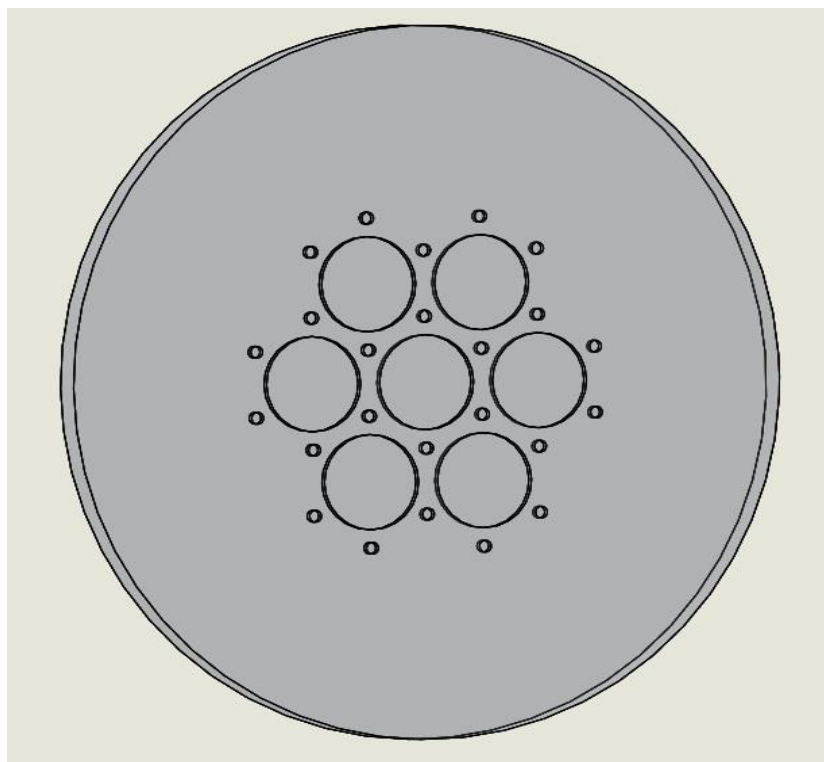


Рисунок 2.8 – Масштабована модель МТС-пальника

Основні параметри даного пальника представлені в порівняльній таблиці 3.3.

Таблиця 2.3 – Порівняльна таблиця основних параметрів МТС-пальника та його масштабованої моделі

Найменування параметра	Значення величини	
	для пальника трубчатого типу	для масштабованої моделі
1. Витрата газу, м <sup>3</sup> /год	2520	147,6
2. Витрата повітря, м <sup>3</sup> /год	27252	1576,8
3. Швидкість виходу повітря з пальника, м/с	37,8	37,8
4. Швидкість виходу газу з отвору підводу газу, м/с	197	197
5. Трубки по повітрю, мм	40x2	40x2
6. Кількість отворів по повітрю	129	7
7. Кількість отворів по газу	300	24

Коефіцієнт масштабування по витраті газу і повітря становить  $K = 17,3$ . Таким чином лінійні розміри масштабованої моделі топки будуть в  $n = \sqrt[3]{17,3} \approx 2,5$  рази меншими від дійсних (рисунок 2.7).

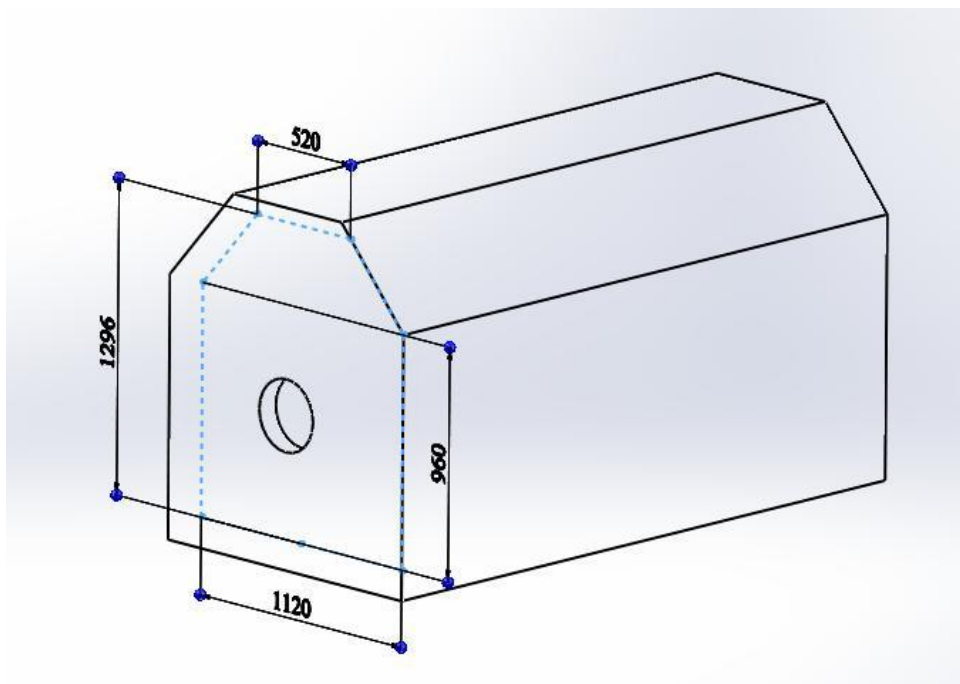


Рисунок 2.9 – Масштабована модель топки котла КВГМ-20

В результаті моделювання аеродинамічних процесів у топці котлоагрегату при роботі МГП-пальника був отриманий розподіл швидкостей газоповітряної суміші (рисунки 2.8 - 2.10).

Як бачимо з рисунку 2.9, МГП-пальник має рівномірний розподіл швидкостей газоповітряної суміші у топці котельного агрегату. Потік продуктів згорання рухається горизонтально у напрямку до поворотного екрану, охолоджуючись на своєму шляху за рахунок тепловіддачі випромінюванням до екранних труб котлоагрегату.

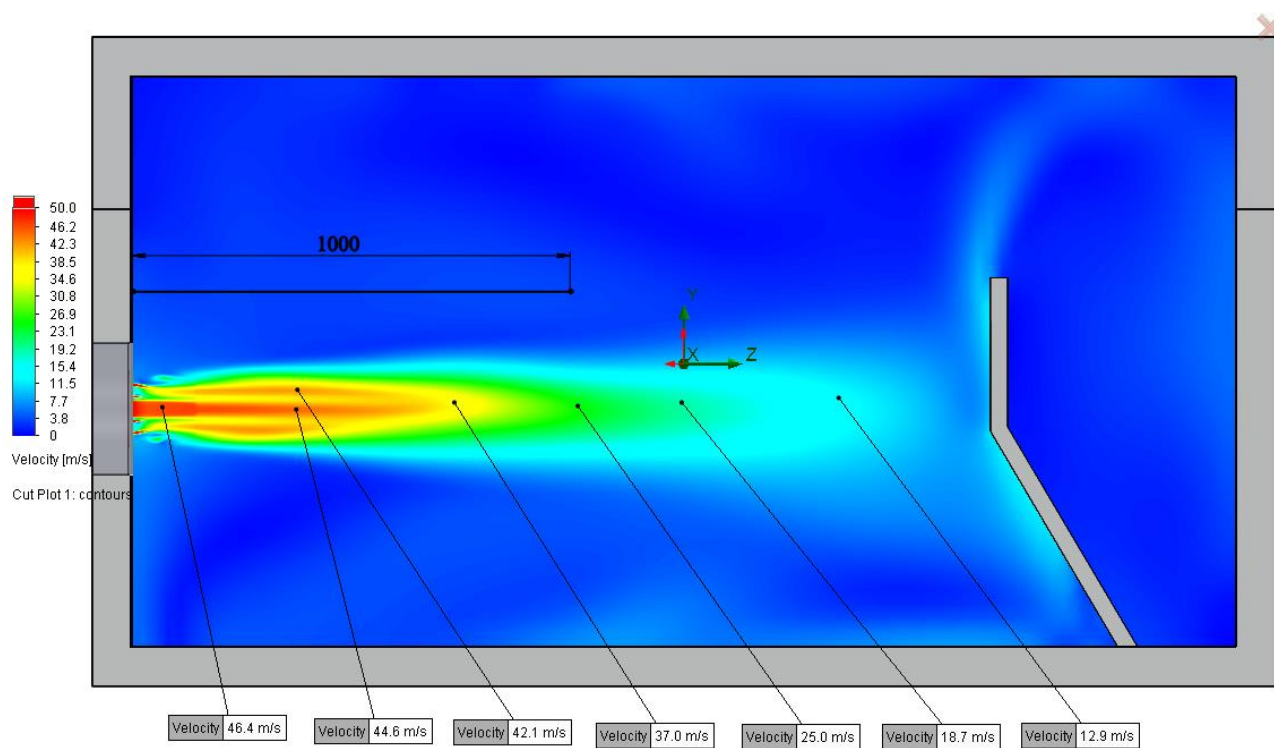


Рисунок 2.10 – Розподіл швидкостей повітря у топці котла при роботі пальника типу МГП у повздовжньому розрізі

На рисунку 2.11 у збільшеному вигляді зображений розподіл швидкостей газоповітряної суміші на виході з МГП-пальника та на вході у топку котлоагрегату.

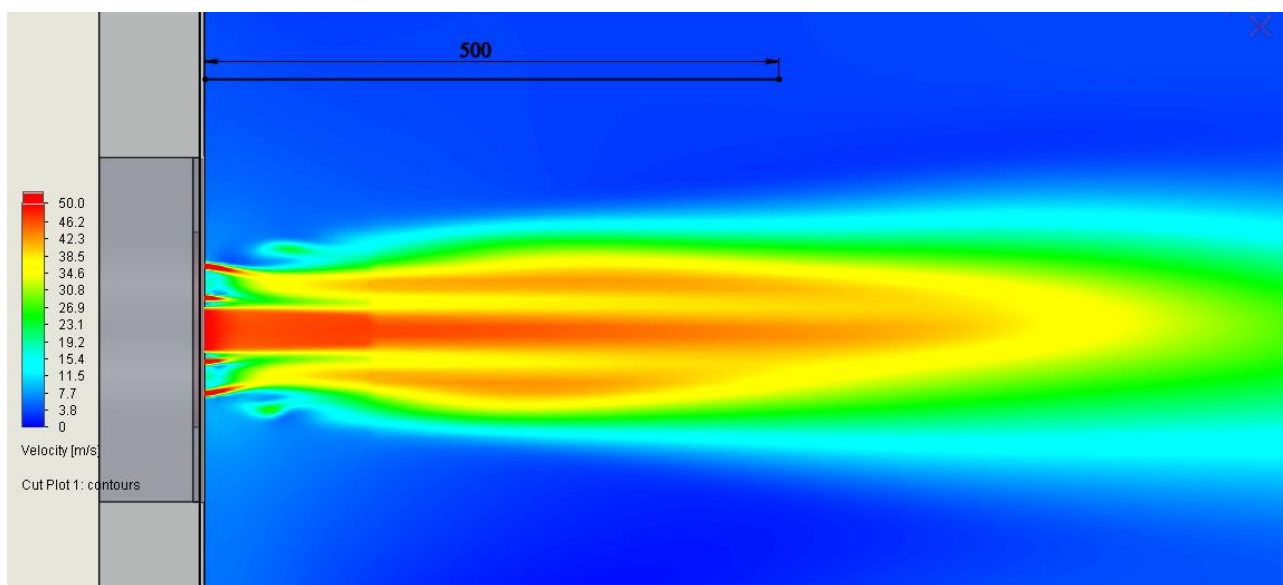


Рисунок 2.11 – Розподіл швидкостей повітря на виході з пальника типу МГП у повздовжньому розрізі

Як видно з рисунку 2.11, газ виходить з отворів підводу паралельно руху повітря. Таким чином у МГП-пальнику не виникає додатковий аеродинамічний опір по тракту руху повітря.

Швидкість виходу газу більша за швидкість виходу повітря. Однак вже на відстані 0,25 м швидкості повітря і газу вирівнюються, газоповітряний потік стає однорідним (рис. 2.10).

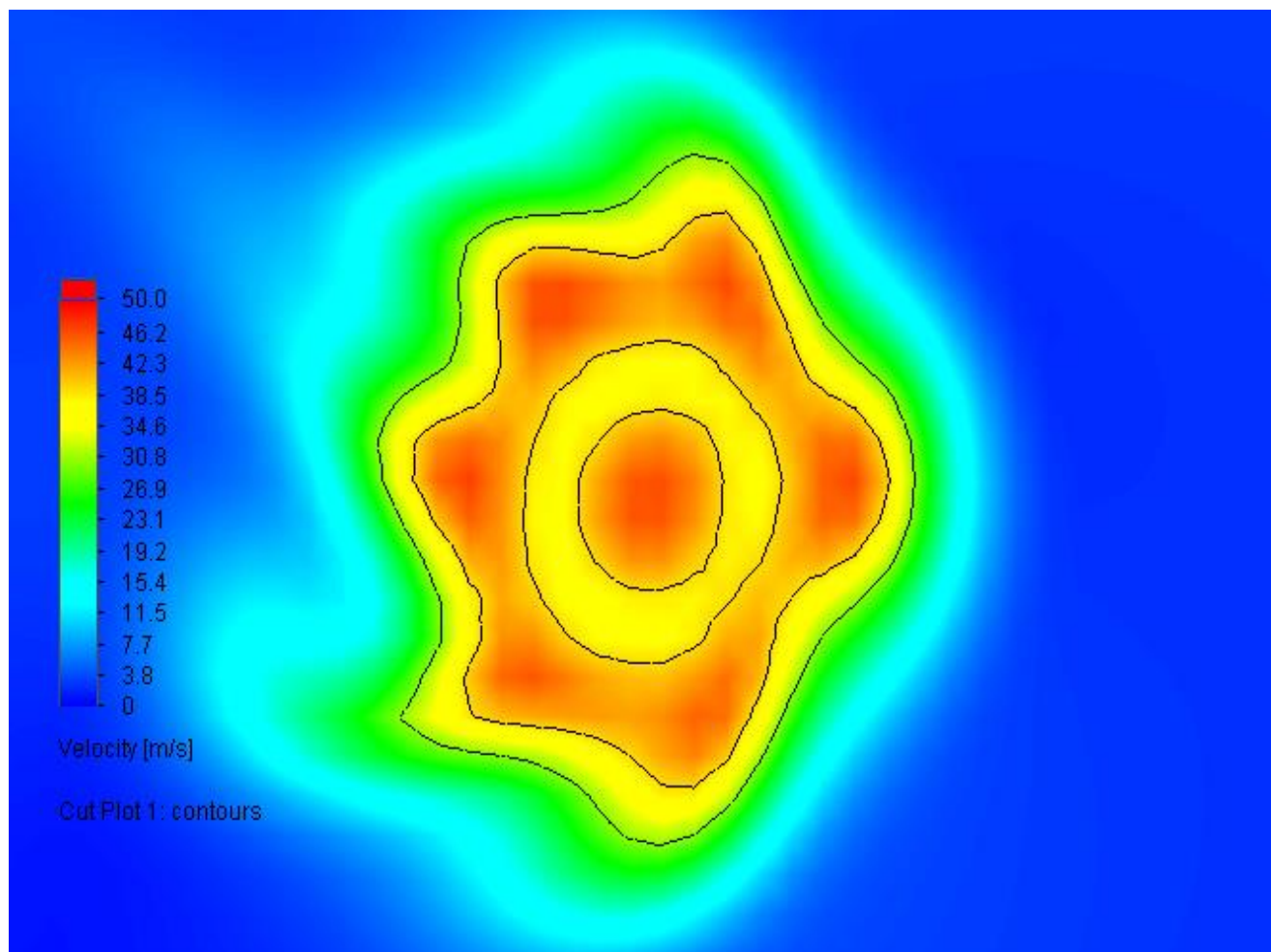


Рисунок 2.12 – Розподіл швидкостей повітря у топці котла при роботі пальника типу МГП у поперечному розрізі на відстані 0,25 м від амбразури пальникового пристрою

Трубною системою пальника типу МГП, яка виступає у ролі стабілізатора потоку повітря, забезпечується рівномірний розподіл повітря по повітряних трубках. Завдяки підводу газу до міжтрубного простору трубної системи пальникового пристрою сімома трубами досягається рівномірність розподілу газу у газовому просторі пальника та виходу газу з отворів підводу. Рівномірність поля швидкостей газоповітряної суміші у топці котлоагрегату досягається за рахунок використання прямоточності руху газоповітряної суміші.

На рисунках 2.11 – 2.13 зображений розподіл концентрацій газу у топці котлоагрегату із пальником типу МГП.



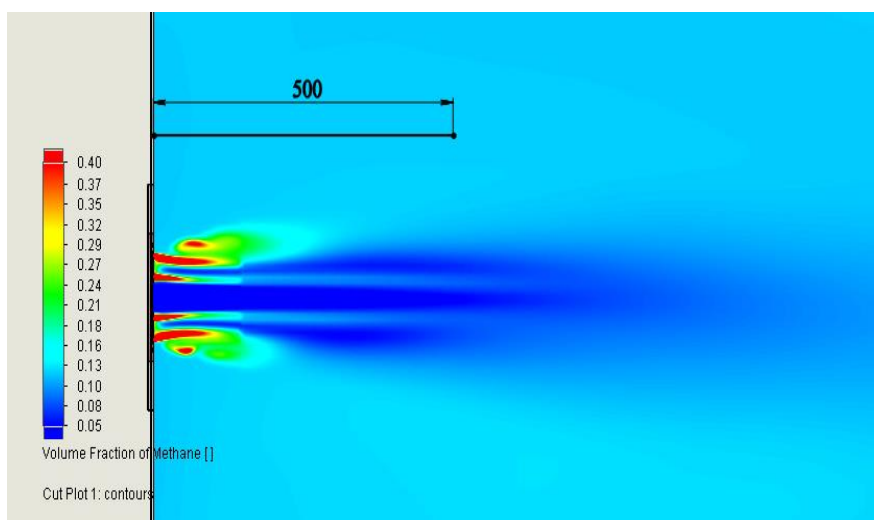


Рисунок 2.13 – Розподіл концентрацій газу у топці котла при роботі пальника типу МГП у повздовжньому розрізі

Як видно з рисунку 2.13, пальник типу МГП характеризується рівномірним полем концентрацій газу на вході у топку котельного агрегату та, як наслідок, якісним сумішоутворенням. Це дозволяє пальнику типу МГП забезпечувати низькі викиди шкідливих речовин в атмосферу при значеннях коефіцієнту надлишку повітря близьких до одиниці. Таким чином використання пальника типу МГП на котельному агрегаті КВГМ-20 дозволить знизити втрати з відхідними газами (за рахунок зменшення надлишку повітря) при одночасному покращенні екологічних показників роботи котлоагрегату.

На рисунку 2.14 у збільшеному вигляді зображений розподіл концентрацій газу на виході з МТС-пальника та на вході у топку котлоагрегату.

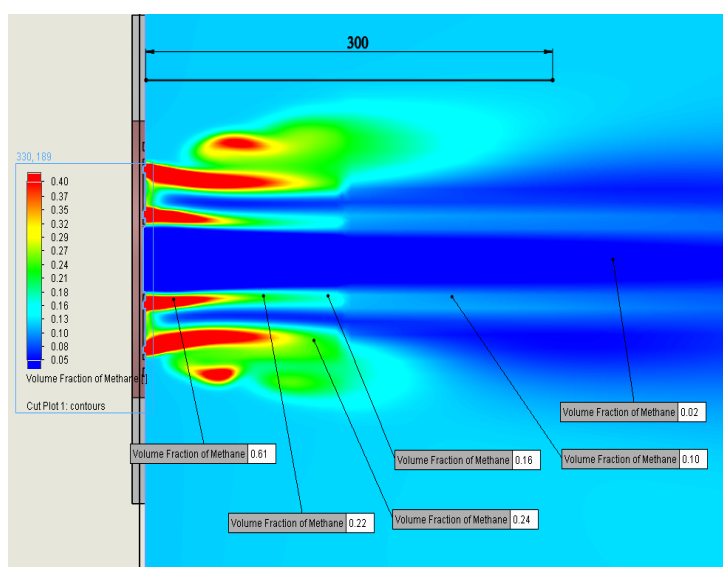


Рисунок 2.14 – Розподіл концентрацій газу на виході з пальника типу МГП у повздовжньому розрізі

Як бачимо з рисунку 2.14, оптимальна концентрація газу у МГП-пальнику досягається вже на відстані 0,9 м від амбразури пальника. Це забезпечує стабільний режим горіння та надійну роботу пальникового пристрою.

На рисунку 2.15 зображений розподіл швидкостей концентрацій газу у поперечному розрізі на вході у топку котлоагрегату при роботі пальника типу МГП.

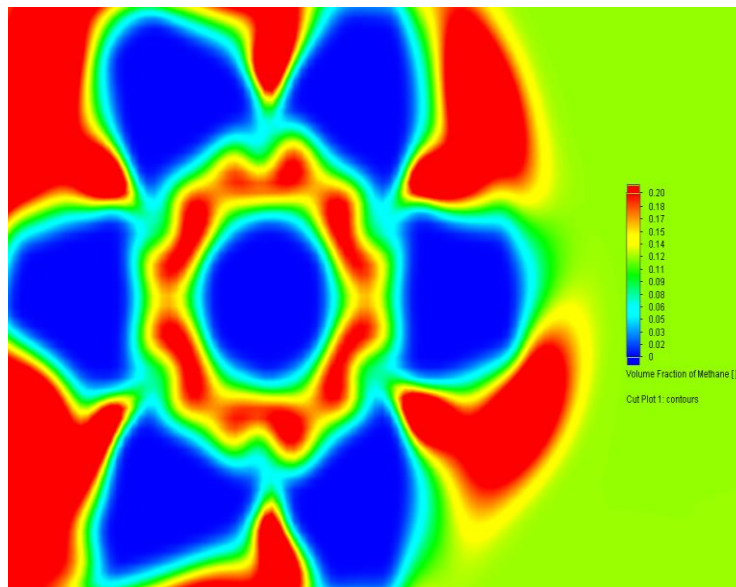


Рисунок 2.15 – Розподіл концентрацій газу у топці котла при роботі пальника типу МГП у поперечному розрізі на відстані 0,1 м

З рисунку 2.15 видно, що газ у газоповітряній суміші в поперечному перерізі на виході з пальника штатного типу розподіляється рівномірно. Це унеможливило утворення монооксидів вуглецю  $CO$  навіть при значеннях коефіцієнту надлишку повітря близьких до одиниці.

Якісне сумішоутворення пальника трубчастого типу обумовлює коротший факел, ніж у штатного пальника. Таким чином до конвективної частини котлоагрегату надходять продукти згорання, що повністю згоріли та дещо охолодились, що призводить до збільшення моторесурсу конвективних труб.

Зменшено нерівномірність розподіл температур по об'єму топки котлоагрегату. Таким чином зменшиться локальний перегрів екранних труб, що збільшить термін їх експлуатації та підвищить ККД котлоагрегату.

Крім того, таке сумішоутворення та такий факел сприяє зменшенню зон з локальним підвищенням температури продуктів згорання, в яких утворюються оксиди азоту ( $NO_x$ ).

Запропонована та розрахована конструкція МТС-пальника для котлоагрегату КВГМ-20 забезпечує максимально повне згорання палива при мінімальному коефіцієнті надлишку повітря. Крім того, аеродинамічний опір МГП-пальника значно менше, аеродинамічного опору



штатного пальникового пристрою. Це дає можливість експлуатувати дуттьовий вентилятор і димосос на пониженій потужності, що заощадить витрати електроенергії на їх привід.

Для моделювання процесів сумішоутворення у топці котла використано математичний апарат Flow Simulation комплексу програмного забезпечення SolidWorks.

Аналізуючи розподіл швидкостей газоповітряної суміші та концентрацій газу у топці котлоагрегату КВГМ-20 можна зробити висновок, що при використанні МГП-пальника має місце рівномірний розподіл швидкостей газоповітряної суміші, прямоточність потоків газу і повітря. Завдяки цьому при мінімальному аеродинамічному опорі і незначному надлишку повітря забезпечується інтенсивне сумішоутворення, і як наслідок якісне згорання палива. Якісне сумішоутворення при роботі котла на МГП-пальнику обумовлює коротший факел, ніж у штатного пальника. Результатом є підвищення ККД котлоагрегату, зниження шкідливих викидів в атмосферу і подовження ресурсу поверхонь нагріву.

Реальна кількість повітряних трубок складає понад 130 шт., що значно більше, ніж у масштабованій моделі (7 трубок). Тому результати з рівномірності мікрофакельного спалювання у реальних процесах є ще більш досконалішими з рівномірного розподілу швидкостей та концентрації газоповітряної суміші у робочій зоні спалювання газу. Тому й результати спалювання у пальнику типу МГП-20 мають суттєві переваги перед пальником РГМГ-20.

### **2.3 Висновки до розділу 2**

В розділі 2 наведені основні дані по мікрофакельній технології газоспалювання та результати дослідження роботи котла за допомогою комп'ютерної моделі пальника МГП нового покоління.

Згідно отриманих результатів заміна штатного пальника типу РГМГ на мікрофакельний пальник забезпечує максимально повне згорання палива при мінімальному коефіцієнті надлишку повітря, значно менший аеродинамічний опір та краще сумішеутворення, що забезпечує підвищення енерго-екологічних характеристик котла.

## 3 РОЗРОБКА ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ КОНСТРУКЦІЇ ПАЛЬНИКА НОВОГО ПОКОЛІННЯ

### 3.1 Конструктивні особливості МГП-пальника

Використовуючи інформацію щодо витрати палива, його складу та діапазон коефіцієнтів надлишку повітря проведено розрахунок горіння палива та наведено їх значення у табличній формі

Конструктивні параметри штатного пальника типу РГМГ-20:

Об'ємна витрата газу.

$$V_{\Gamma} = 2560 \text{ м}^3_{\text{н}} / \text{год} = 0,711 \text{ м}^3_{\text{н}} / \text{с}.$$

Площа поперечного перерізу по газу знайдемо за формулою, м<sup>2</sup>

$$f_{\Gamma} = n \cdot \frac{\pi d_{\Gamma}^2}{4}, \quad (3.1)$$

де  $n$  – кількість газових отворів, шт,

$$n = 20 \text{ шт},$$

$d_{\Gamma}$  – діаметр газових отворів,  $d_{\Gamma} = 15$  мм;

$$f_{\Gamma} = 20 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,015^2}{4} = 0,00353 \text{ м}^2.$$

Швидкість виходу газу з отвору для його підводу, м/с

$$W_{\Gamma} = V_{\Gamma} / f_{\Gamma}, \quad (3.2)$$

$$W_{\Gamma} = 0,711 / 0,00353 = 201,4 \text{ м/с}.$$

Прохідний переріз пальника по повітрю складається з поперечного перерізу в реєстрі та в трубі первинного повітря, м<sup>2</sup>

$$F_{\text{пов}} = f_{\text{рег}} + f_{\text{перв.пов.}}, \quad (3.3)$$

де  $f_{\text{рег}}$  – площа прохідного перерізу реєстра, м<sup>2</sup> ;

$$f_{\text{рег}} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_3^2)}{4} - (D - d_3) \cdot \delta_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}}, \quad (3.4)$$

де  $D$  – внутрішній діаметр реєстра, м;

$d_3$  – зовнішній діаметр патрубку первинного повітря, м;

$\delta_{\text{л}}$  – товщина лопаток, м;

$n_{\text{л}}$  – кількість лопаток, шт.

$$f_{\text{рег}} = \frac{3,14 \cdot (0,596^2 - 0,28^2)}{4} - (0,596 - 0,28) \cdot 0,003 \cdot 18 = 0,2 \text{ м}^2.$$

$F_{\text{перв.пов}}$  – поперечний переріз в трубі первинного повітря, м<sup>2</sup>.

$$F_{\text{перв.пов}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{перв.пов.}}^2}{4}, \quad (3.5)$$

де  $d_{\text{перв.пов.}}$  – внутрішній діаметр патрубку первинного повітря, м.

$$f_{\text{перв.пов}} = \frac{3,14 \cdot 0,272^2}{4} = 0,058 \text{ м}^2.$$

Прохідний переріз пальника по повітрю

$$f_{\text{пов}} = 0,058 + 0,2 = 0,258 \text{ м}^2.$$

Результати розрахунку горіння палива наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок повного горіння газоподібного палива

Компонент палива	Вміст в паливі %	Реакція горіння	Повітря, м <sup>3</sup> <sub>н</sub> /100 м <sup>3</sup> <sub>н</sub>			Продукти горіння, м <sup>3</sup> <sub>н</sub> /100 м <sup>3</sup> <sub>н</sub>				
			O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	V <sub>пов.</sub>	RO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	V <sub>пр.гоп.</sub>
CH <sub>4</sub>	97,995	CH <sub>4</sub> + 2O <sub>2</sub> = CO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	196	736,9	932,9	98	–	737	195,9 90	1030, 91
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,772	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> + 3,5O <sub>2</sub> = 2CO <sub>2</sub> + 3H <sub>2</sub> O	2,7	10,16	12,86	1,54	–	10,2	2,316	14,02
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,261	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> + 5O <sub>2</sub> = 3CO <sub>2</sub> + 4H <sub>2</sub> O	1,31	4,907	6,212	0,78	–	4,91	1,044	6,734
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,093	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> + 6,5O <sub>2</sub> = 4CO <sub>2</sub> + 5H <sub>2</sub> O	0,61	2,273	2,878	0,37	–	2,27	0,465	3,11
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,019	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> + 8O <sub>2</sub> = 5CO <sub>2</sub> + 6H <sub>2</sub> O	0,15	0,572	0,724	0,09	–	0,57	0,114	0,781
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,025	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> + 9,5O <sub>2</sub> = 6CO <sub>2</sub> + 7H <sub>2</sub> O	0,24	0,893	1,131	0,15	–	0,83	0,175	1,218
N <sub>2</sub>	0,763	–	–	–	–	–	–	0,76	–	0,763
CO <sub>2</sub>	0,059	–	–	–	–	0,06	–	–	–	0,059
O <sub>2</sub>	0,013	–	–	–	–	–	–	–0,05	–	–0,05
100 м <sup>3</sup> <sub>н</sub>		α = 1,0; повітря сухе	201	755,7	956,7	201	0	756	200,1	1057
$\varepsilon' = \frac{B \cdot d_B}{804} = 11,899 \frac{\text{м}^3}{100 \text{м}^3_{\text{н}}}$ $\varepsilon'' = \frac{\alpha \cdot B \cdot d_B}{804} = 16,658 \frac{\text{м}^3}{100 \text{м}^3_{\text{н}}}$ $\varepsilon''' = \frac{\alpha \cdot B \cdot d_B}{804} = 16,658 \frac{\text{м}^3}{100 \text{м}^3_{\text{н}}}$		α = 1,0; повітря вологе	201	755,7	968,6	201	0	756	212	1069
		α = 1,1; повітря сухе	221	831,2	1052	201	20,1	832	200,1	1153
		α = 1,1; повітря вологе	221	831,2	1065	201	20,1	832	213,2	1166
		α = 1,4; повітря сухе	281	1058	1339	201	80,4	1058,7	200,1	1440
		α = 1,4; повітря вологе	281	1058	1356	201	80,4	1058,7	216,8	1457

Обробка результатів розрахунку газоподібного палива (наведено в таблиці 3.2)

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку горіння газоподібного палива

	$\alpha_1=1, \text{ м}^3_{\text{н}}/\text{м}^3_{\text{н}}$	$\alpha_2=1,1, \text{ м}^3_{\text{н}}/\text{м}^3_{\text{н}}$	$\alpha_2=1,4, \text{ м}^3_{\text{н}}/\text{м}^3_{\text{н}}$
$V_{\text{пов}}$	9,686	10,654	13,560
$V_{\text{пр зг}}$	10,694	11,663	14,569

З проведених розрахунків бачимо, що стехіометричний коефіцієнт лежить в діапазоні 9,686...13,560. Для штатного пальника при  $\alpha=1,4$  стехіометричний коефіцієнт становить 13,56.

Об'ємна витрата повітря,  $\text{м}^3_{\text{н}}/\text{с}$

$$V_{\text{пов}} = 13,56 \cdot V_{\text{г}}, \quad (3.6)$$

$$V_{\text{пов}} = 13,56 \cdot 0,711 = 9,64 \text{ м}^3_{\text{н}}/\text{с} = 34704 \text{ м}^3_{\text{н}}/\text{с};$$

Швидкість виходу повітря з отвору підводу,  $\text{м}/\text{с}$

$$W_{\text{пов}} = V_{\text{пов}}/f_{\text{пов}}, \quad (3.7)$$

$$W_{\text{пов}} = 9,64/0,258 = 37,36 \text{ м}/\text{с}.$$

Результати проведених розрахунків зводимо у таблиці 3.3:

Конструктивні параметри пальника мікрофакельного типу МГП-20 наведено у табл.3.3.

Таблиця 3.3 – Загальні характеристики штатного пальника РГМГ-20 та МТС-пальника типу МГП-20

Найменування параметра	Значення величини		
	штатний пальник РГМГ-20	пальник МГП-20	Зміна величини, %
1	2	3	4
Витрата газу, $\text{м}^3/\text{год}$	2560	2560	0
Витрата повітря, $\text{м}^3/\text{год}$	34704	27252	-21
Коефіцієнт надлишку повітря	1,4	1,1	-21
Діаметр амбразури пальника, мм	600	600	0
Площа поперечного перерізу по повітрю (з врахуванням мазутної форсунки), $\text{м}^2$	0,258	0,137	-47
Площа поперечного перерізу по газу, $\text{м}^2$	0,00353	0,00554	+57
Швидкість виходу повітря з пальника, $\text{м}/\text{с}$	37,36	55,26	+48
Швидкість виходу газу з отвору підводу газу, $\text{м}/\text{с}$	201,4	128,3	-36
Трубки по повітрю, мм	—	40x1	—
Кількість отворів по повітрю	—	121	—
Кількість отворів по газу	—	272	—

Загальний вигляд робочої зони мікрофакельного пальника наведено на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд робочої зони пальника типу МГП-20

### **3.2 Технологічна схема приєднання МГП-пальника до газової та повітряної магістралей**

Приєднання газового пальника типу МГП-20 до газової та повітряної магістралей здійснюється у відповідності до діючих вимог з техніки безпеки та у послідовності, що відповідає технологічній карті монтажу.

Приєднання здійснюється після проведення відповідних робіт з демонтажу штатного пальника та підготовки робочих зон та поверхонь газопроводу, повітряпроводу та амбразури пальника у топці котла (рисунок 3.2)

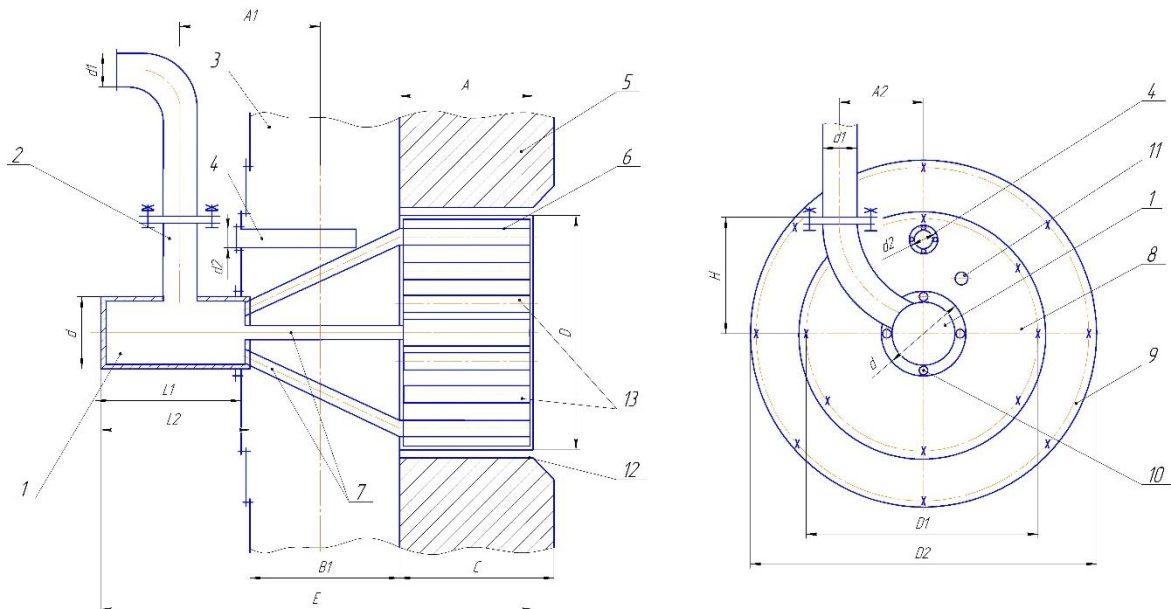


Рисунок 3.2 – Амбразура пальника котла

Демонтаж штатного пальника здійснюється у відповідності до діючих норм з техніки безпеки виконання робіт на котельному обладнанні та у відповідності до послідовності робіт та технологічних операцій технологічної карти демонтажу пальника штатного типу.

Приєднання пальника типу МГП-20 до газової та повітряної магістралей котла здійснюється без зміни у конструкції газоходів, повітряпроводів, повітряного коробу, амбразури штатного пальника та поверхонь нагріву котла.

Пальник типу МГП-20 (рисунок 3.3) у повному зборі має вагу, що не перевищує 65 кг, тому під час його монтажу здійснюються технологічні операції бригадою співробітників чисельністю не менше трьох осіб, серед яких повинні бути керівник бригади, зварювальник та слюсар.



1 – газопідвідний короб; 2 – підвід газу; 3 – повітряний короб; 4 – запальник; 5 – обмурівка; 6 – пальник; 7 – газопідвідні трубки пальника; 8 – фланець пальника; 9 – фланець повітряного коробу; 10 – фланець кріплення пальника; 11 – оглядовий отвір; 12 – амбразура пальника; 13 – повітряні трубки пальника.

Рисунок 3.3 – Технологічна схема приєднання пальника типу МГП-20 до газової та повітряної магістралей

Встановлення пальника типу МГП-20 у амбразуру топки котла здійснюється через отвір 9 у повітряному коробі з лицьового торця котла. Після встановлення на штатне місце фланця пальника 8 і закріплення даного фланцю у фланець повітряного коробу 9 здійснюється штатне розташування пальника типу МГП-20 у амбразурі топки котла 12 таким чином, що зовнішня фронтальна його поверхня розташовується на те саме місце на яке був встановлений штатний пальник РГМГ-20

Після встановлення пальника у таке положення в топку котла на газопідвідному коробі 1 фіксується положення фланця кріплення пальника 10 до фланця пальника 8. У цьому положенні фланець кріплення пальника 10 приварюється до газопідвідного коробу 1, після чого закріплюється за допомогою болтового з'єднання до фланця пальника зі щільною прокладкою між ними. При такому положенні пальника закріплюються фланцеві з'єднання на газопроводі підводу газу 2.

Встановлення пальника типу МГП-20 у амбразуру котла КВГМ-20 за такою технологічною схемою його приєднання до газової магістралі автоматично забезпечує доступ до нього повітряного потоку з повітряного коробу 3 та спалювання природного газу у топці котла з високими показниками енергетичної ефективності та екологічної безпеки (рисунок 3.4)



Рисунок 3.4 – Пальник МГП-20 після встановлення в амбразуру котла

Газопостачання пальника типу МГП-20 здійснюється наступним чином. Газ з підвідного газопроводу котла 2 подається під робочим тиском до  $0,2 \text{ кг/см}^2$  до газопідвідного коробу 1, з якого через газопідвідні трубки 7 поступає до робочого об'єму пальника 6 у між трубний простір. На зовнішній, фронтальній поверхні пальника 6 з боку топки котла газ виходить через газові отвори, що розташовані навколо повітряних трубок 13 пальника. Повітря вентилятором подається до повітряного коробу 3, з якого через повітряні трубки пальника 13 воно потрапляє у топку котла, де завдяки інтенсивному перемішуванню з газом утворюється газоповітряна суміш високого рівня якості, яка дозволяє забезпечити високу швидкість спалювання факелу. Поділення фронтальної поверхні пальника за допомогою повітряних трубок на рівномірно розташовані зони подачі повітря та газу забезпечує багатофункціональність робочого процесу та мікрофакельність процесу спалювання газу. Незначний час перебування газоповітряної суміші у зоні спалювання та висока швидкість її згоряння є основою низьких значень концентрацій термічних оксидів азоту  $NO_x$ . Високий рівень якості перемішування повітря та природного газу дозволяють суттєво знизити значення концентрації оксиду вуглецю  $CO$  під час мікрофакельного спалювання газоповітряної суміші. Ці властивості робочого процесу

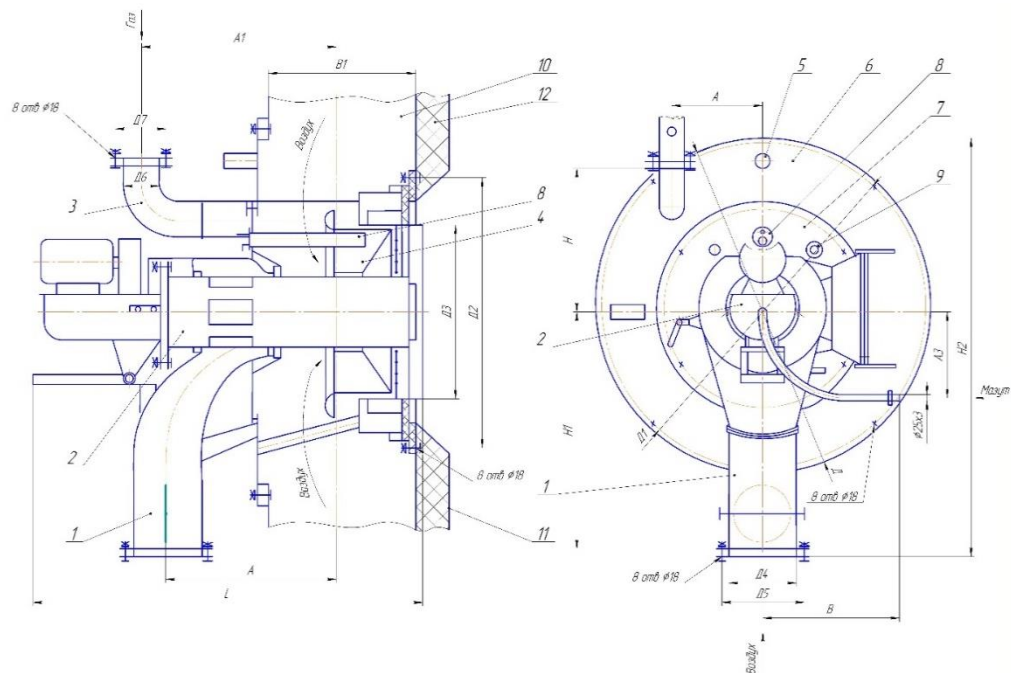
пальника типу МГП-20 дозволяють забезпечити високий рівень вигорання палива у топці котла з незначною величиною довжини робочого факелу.

### 3.3 Технологічні карти демонтажу штатного пальника РГМГ-20 та монтажу пальника типу МГП-20

Здійснення модернізації пальникової системи котла КВГМ-20 повинно проходити послідовно за етапами, які із демонтажем штатного пальника, підготовкою поверхонь і з'єднань та встановленням монтажем пальника типу МГП-20.

Пальник нового покоління типу МГП-20 розроблений на основі поєднання класичних підходів до забезпечення високих значень показників екологічної безпеки спалювання органічного газоподібного палива та використання конструктивних рішень забезпечення мікрофакельності і швидкості спалювання газу.

Наявність комплексу різноманітних властивостей газового пальника типу МГП-20 дозволяють його «вписати» в існуючі схеми газо- та повітряпідведення без зміни конструкції і компоновки топки котла. Це спрощує процес демонтажу штатного пальника РГМГ-20 та встановлення на його місце газового пальника типу МГП-20 (рисунок 3.5).



- 1 – повітря підвідний короб; 2 – мазутна форсунка; 3 – газовий колектор для пальника;  
 4 – газомазутний пальник штатного типу; 5 – контрольний отвір;  
 6 – фланець фронту котла; 7 – фланець пальникового пристрою; 8 – запальник;  
 9 – оглядовий отвір; 10 – повітряний короб; 11 – фронтальна поверхня топки;  
 12 – обмурівка топки.

Рисунок 3.5 – Принципова схема розташування штатного пальника РГМГ-20 на передній фронтальній поверхні котла КВГМ-20



Технологічна карта демонтажу пальника із найменуванням та трудоемністю робіт РГМГ-20 наведена в таблиці 3.4

Таблиця 3.4 – Технологічна карта демонтажу пальника РГМГ-20

Найменування робіт, зміст операцій та технічних вимог (ТВ)	Трудоемність чол. год.
<b>Демонтаж мазутної форсунки (рис. 3.3)</b>	<b>5,1*1,2*1,15=7,1</b>
Відведіть до кінця на себе і вправо мазутну форсунку 2 від передньої фронтальної поверхні котла КВГМ-20 (якщо стояти перед пальником)	0,2
Роз'єднайте усі підводи палива (мазутопроводи) та повітря (повітропровід 1) від пальника	1,4
Демонтуйте мазутну форсунку від місця посадки на котлі та перемістіть її за допомогою підйомних механізмів у відповідне місце у цеху котельні	1,0
Демонтуйте повітряпідвідний короб 1, та перемістіть його у відповідне місце у цеху котельні	1,5
Встановіть заглушку на фланець повітря підвідного коробу 1	0,5
Демонтуйте запальник	0,5
<b>Роз'єднання газопроводу</b>	<b>0,4*1,2*1,15=0,552</b>
Роз'єднайте 8 болтових з'єднань (М16) на газопідвідному газопроводі котла	0,2
Встановіть заглушку фланець із газощільною прокладкою та з'єднайте 8 болтових з'єднань (М16) на газопроводі	0,2
<b>Демонтаж пальника РГМГ-20</b>	<b>5,7*1,2*1,15=7,87</b>
Роз'єднайте 6 болтових з'єднань (М20) фланцю пальникового пристрою 7	0,2
Демонтуйте фланець пальникового пристрою 7 та перемістіть його у місце збору деталей у цеху котельні	0,5
Демонтуйте запальник 8 пальникового пристрою та перемістіть його у місце збору деталей у цеху котельні	1,3
Роз'єднайте 6 болтових з'єднань (М20) на фланці фронту котла	0,2
Демонтуйте фланець фронту котла 6 та перемістіть його у відповідне місце у цеху котельні	0,5
Демонтуйте газовий колектор пальника 3 розрізанням його у місці з'єднання з пальником	0,5
Демонтуйте газомазутний пальник штатного типу РГМГ-20 з амбразури топки та перемістіть його у відповідне місце у цеху котельні	1,5
Здійсніть огляд та очистку усіх місць з'єднань та посадкових місць пальника, амбразури та повітряного коробу від іржі, металевих часток, сміття, тощо.	1,0

Технологічна карта монтажу пальника МГП-20 із найменуванням та трудоемністю робіт наведена в таблиці 3.5

Таблиця 3.5 – Технологічна карта монтажу газового пальника типу МГП-20 котла КВГМ-20

Найменування робіт, зміст операцій та технічних вимог (ТВ)	Трудоємність чол. *год.
<b>Монтаж газового пальника</b>	<b>7,9*1,2*1,15=10,9</b>
Встановіть газовий пальник ГПТТ-20 у амбразуру топки котла (рис. 1.10) таким чином, щоб його зовнішня фронтальна стінка зайняла теж саме місце, що займав штатний пальник	0,5
Змажте усі різьбові з'єднання болтів, за допомогою яких фіксується фланець пальника 8, фланець повітряного коробу 9, фланець кріплення пальника 10, фланець запальника 4 тонким шаром протипригарної змазки	0,5
Встановіть прокладку на фланець пальника 8 з використанням сілоксанової емалі	0,3
Встановіть прокладку на фланець повітряного коробу 9 з використанням сілоксанової емалі	0,3
Встановіть фланець повітряного коробу 9 на повітряний короб 3 із закріпленням його болтовими з'єднаннями (М18) 6 шт.	1,0
Встановіть фланець пальника 8 на фланець повітряного коробу 9 із закріпленням його болтовими з'єднаннями (М18) 6 шт.	1,0
Встановіть прокладку на фланець кріплення пальника 10 із використанням сілоксанової емалі	0,2
Встановіть на газопідвідний короб 1 фланець кріплення пальника 10	0,2
Закріпіть фланець кріплення пальника 10 на фланці пальника 8 болтовими з'єднаннями (М14)	0,2
Приваріть газощільно фланець кріплення пальника 10 до газопідвідного коробу 1	0,5
Встановіть запальник 4 у фланець пальника 8	0,5
Встановіть прокладку на фланець газопроводу 2	0,2
Здійсніть приєднання фланців газопроводу 2 за допомогою 8 болтових з'єднань (М16) для подачі газу у газопідвідний короб 1 газового пальника 6	0,5
Перевірити на герметичність з'єднання фланців газопроводу 2 повітрям надлишковим тиском 100 кПа.	1,0
Здійснити щільну обмазку пальника у амбразурі 12 з боку топки котла з метою забезпечення герметичності повітряного об'єму повітряного коробу 3 та недопущення неконтрольованого проникнення повітря у топку під час експлуатації.	0,5
Здійснити усі необхідні операції для заповнення газом газопроводу котла перед його розпалюванням.	0,5

Як видно з таблиць 3.4 та 3.5 трудоемкість робіт по демонтажу штатного газового пальника РГМГ-20 котла КВГМ-20 та монтажу пальника МГП-20 складають 26,42 чол\*год. Таким чином бригадою працівників роботи по заміні газового пальника можуть проводитися впродовж лжнієї зміни.

### **3.4 Висновки до розділу 3**

В розділі 3 наведені дані по конструктивним особливостям мікрофакельного пальника, його загальні характеристики та розрахунок повного горіння палива, опис технологічної схеми приєднання пальника до газової та повітряної магістралей та технологічні карти демонтажу штатного пальника РГМГ-20 та монтажу пальника типу МГП-20.

## 4 РОЗРОБКА ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ КЕРУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯМ КОТЛА З ВИКОРИСТАННЯМ ЧАСТОТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

### 4.1 Принципова схема підключення частотних перетворювачів до котла

Частотні перетворювачі (ЧП) призначені для регулювання обертів двигунів вентилятора та димососа з метою підтримування технологічних параметрів на заданому оператором та/або системою керування рівні. ЧП з'єднані з двигунами за допомогою силових кабелів розрахованих характеристик. Принципова схема підключення частотних перетворювачів до котла зображена на рисунк 4.1.

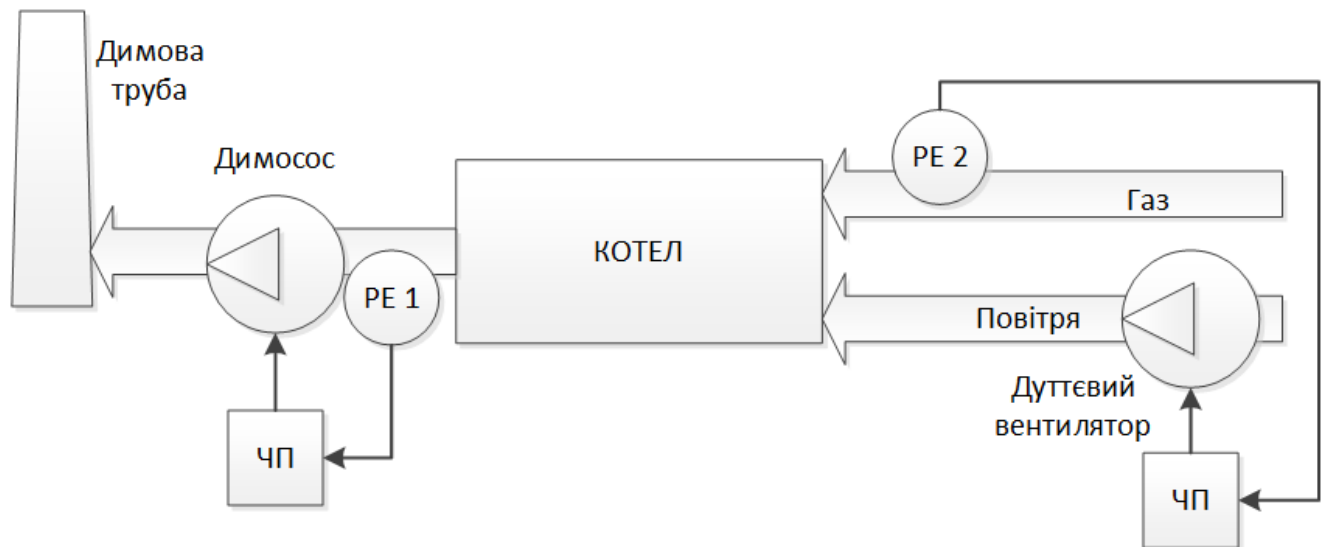


Рисунок 4.1 – Принципова схема підключення частотних перетворювачів до котла

Частотний перетворювач димососа змінює свою вихідну частоту, а, отже, оберти двигуна димососа, відповідно до показників розрідження в топці котла (перетворювач тиску РЕ1).

Частотний перетворювач дуттєвого вентилятора змінює свою вихідну частоту, а, отже, оберти двигуна вентилятора, залежно від поточного навантаження котла. РЕ2 – перетворювач тиску газу перед подачею на пальники, показники якого прямо залежать від навантаження котла.

Система розрахована на роботу з перетворювачами тиску із уніфікованими вихідними сигналами 4-20 мА, де 4 мА відповідає нижній межі вимірювання перетворювача, а 20 мА – верхній межі.

Підключення частотного перетворювача серії Altivar Process ATV600 відбувається згідно рекомендацій виробника.

Частотний перетворювач підключається до мережі електроживлення 380В через трифазний автоматичний вимикач *QF*.

Підключення частотного перетворювача до двигуна вентилятора (димососа) відбувається силовим кабелем із розрахованим перетином.

Для реалізації функцій автоматичного регулювання вихідної частоти по показникам давача тиску (розрідження) PE1(2) на клемну колодку кіл керування підключається давач тиску (розрідження) з сигналом 4-20мА по двопровідній схемі підключення. Живлення давача здійснюється зовнішнім блоком живлення постійного струму з напругою +24В.

Схема підключення частотних перетворювачів до дуттєвого вентилятора та димососа наведена на рисунку 4.2.

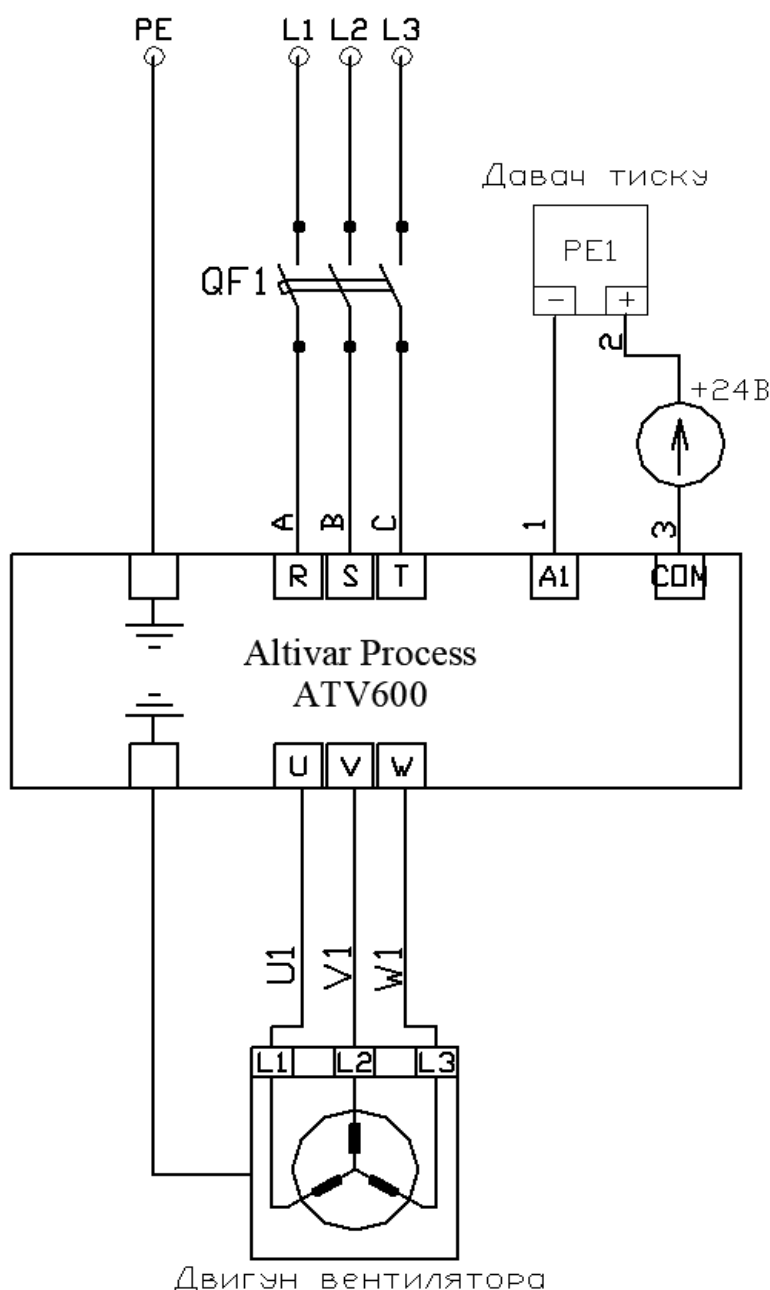


Рисунок 4.2 – Принципова схема підключення частотних перетворювачів до дуттєвого вентилятора та димососа

#### 4.2 Загальні дані та характеристики частотного перетворювача електродвигуна вентилятора

У якості частотного перетворювача електродвигуна вентилятора застосовується пристрій Schneider Electric Altivar ATV630D37N4 (рисунок 4.2). [13]



Рисунок 4.3 – Частотний перетворювач Schneider Electric Altivar ATV630  
Технічні характеристики наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики частотного перетворювача вентилятора

Характеристика	Значення
1	2
Серія продукта	Altivar Process ATV600
Тип пристрою та його аксесуарів	Привід з регульованою частотою обертання
Область застосування	Технологічні процеси та інженерні комунікації
Коротка назва пристрою	ATV630
Виконання	Стандартне виконання
Призначення	Асинхронні електродвигуни Синхронні двигуни
Виконання вимикача	Для монтажу на стіну
Фільтр електромагнітної сумісності	Вбудований з 50 м макс. кабель двигуна відповідно до EN / IEC 61800-3 категорія C2 Вбудований з 150 м макс. кабель двигуна відповідно до EN / IEC 61800-3 категорія C3

Продовження таблиці 4.1

1	2
Ступінь захисту IP	IP21 у відповідності з IEC 61800-5-1 IP21 у відповідності з IEC 60529
Ступінь захисту	UL тип 1 у відповідності з UL 508C
Тип охолодження	Вимушена конвекція
Частота живлення мережі	50...60 Hz - 5...5 %
число фаз мережі	3 фази
[Us] номінальна напруга мережі	380...480 В - 15...10 %
Потужність двигуна, кВт	37 кВт (нормальне навантаження) 30 кВт (тяжкі умови)
Потужність двигуна, к.с.	50 к.с. нормальне навантаження 40 к.с. тяжкі умови
Лінійний струм	66,2 А в 380 В (нормальне навантаження) 57,3 А в 480 В (нормальне навантаження) 54,8 А в 380 В (тяжкі умови) 48,3 А в 480 В (тяжкі умови)
Передбачуваний лінійний I <sub>sc</sub>	50 кА
Повна потужність	47,6 кВ·А в 480 В (нормальне навантаження) 40,2 кВ·А в 480 В (тяжкі умови)
Неперервний вихідний струм	74,5 А в 4 kHz для нормального навантаження 61,5 А в 4 kHz для тяжких умов
Макс.перехідний струм	82 А протягом 60 с (нормальне навантаження) 92,3 А протягом 60 с (тяжкі умови)
Профіль керування асинхронним двигуном	перемінний стандартний момент Постійний стандартний момент Режим оптимізованого моменту
Профіль керування синхронним двигуном	Електродвигун з постійними магнітами Synchronous reluctance motor
Вихідна частота	0,0001...0,5 кГц
Вихідна частота привода	0,1...599 Гц
Номінальна частота комутації	4 kHz
Частота комутації	2...12 kHz регульований 4...12 kHz з понижуючим коефіцієнтом
Функція захисту	STO (безпечне виключення крутного моменту) SIL 3
Тип дискретних входів	16 предвстановлених швидкостей
Протокол обміну порту	Ethernet Modbus TCP Modbus послідовн.
Вихідна напруга	<= напруга живлення
Допустимий коротковитримуваний струм	1.1 x I <sub>n</sub> протягом 60 с (нормальне навантаження) 1,5 x I <sub>n</sub> протягом 60 с (тяжкі умови)

Закінчення таблиці 4.1

1	2
Компенсація проковзування валу двигуна	Недоступно для електродвигунів з постійними магнітами Може подавлятися Регульований Автоматично при будь-якій нарузці
Програми прискорення та гальмування	Linear adjustable separately from 0.01...9999 s
Гальмування до зупинки	Подачею постійного току
Тип захисту	Тепловий захист: двигун Захисне відключення двигуна при перевищенні обертового моменту: двигун Зникнення фази двигуна: двигун Тепловий захист: привід Захисне відключення двигуна при перевищенні обертового моменту: привід Перевищення температури: привід Надструм між вихідний фазою і землею: привід Перевантаження по вихідній напрузі: привід Захист від короткого замикання: привід Зникнення фази двигуна: привід Перенапругення на шині пост. струму: привід Підвищена напруга лінії живлення: привід Підвищена напруга живлення: привід Значне зменшення напруги лінії живлення: привід Перевищення швидкості: привід Вимк. в ланцюзі управління: привід

#### 4.3 Загальні дані та характеристики частотного перетворювача електродвигуна димососа

У якості частотного перетворювача електродвигуна двигуна застосовується пристрій Schneider Electric Altivar ATV630D55N4 [13]. Технічні характеристики наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики частотного перетворювача димососа

Характеристика	Значення
1	2
Серія продукта	Altivar Process ATV600
Тип пристрою та його аксесіарів	Привід з регульованою частотою обертання
Область застосування	Технологічні процеси та інженерні комунікації
Коротка назва пристрою	ATV630
Виконання	Стандартне виконання
Призначення	Асинхронні електродвигуни Синхронні двигуни



Продовження таблиці 4.2

1	2
Виконання вимикача	Для монтажу на стіну
Фільтр електромагнітної сумісності	Вбудований з 150 м макс. кабель двигуна відповідно до EN / IEC 61800-3 категорія C3
Ступінь захисту IP	IP21 у відповідності з IEC 61800-5-1 IP21 у відповідності з IEC 60529
Ступінь захисту	UL тип 1 у відповідності з UL 508C
Тип охолодження	Вимушена конвекція
Частота живлення мережі	50...60 Hz - 5...5 %
число фаз мережі	3 фази
[Us] номінальна напруга мережі	380...480 В - 15...10 %
Потужність двигуна, кВт	55 кВт (нормальне навантаження) 45 кВт (тяжкі умови)
Потужність двигуна, к.с.	75 кс (нормальне навантаження) 60 кс (тяжкі умови)
Лінійний струм	97,2 А в 380 В (нормальне навантаження) 84,2 А в 480 В (нормальне навантаження) 81,4 А в 380 В (тяжкі умови) 71,8 А в 480 В (тяжкі умови)
Передбачуваний лінійний I <sub>sc</sub>	50 кА
Повна потужність	70 кВ·А в 480 В (нормальне навантаження) 59,7 кВ·А в 480 В (тяжкі умови)
Неперервний вихідний струм	106 А в 2,5 kHz для нормального навантаження 88 А в 2,5 kHz для тяжких умов
Макс.перехідний струм	116,6 А протягом 60 с (нормальне навантаження) 132 А протягом 60 с (тяжкі умови)
Профіль керування асинхронним двигуном	Постійний стандартний момент Перемінний стандартний момент Режим оптимізованого моменту
Профіль керування синхронним двигуном	Електродвигун з постійними магнітами Synchronous reluctance motor
Вихідна частота	0,0001...0,5 кГц
Вихідна частота привода	0,1...599 Гц
Номінальна частота комутації	2,5 kHz
Частота комутації	2,5...8 kHz с понижуючим коефіцієнтом 2...8 kHz регульований
Функція захисту	STO (безпечне виключення крутного моменту) SIL 3
Тип дискретних входів	16 предвстановлених швидкостей

Закінчення таблиці 4.2

1	2
Протокол обміну порту	Ethernet Modbus послідовн. Modbus TCP
Вихідна напруга	$\leq$ напруга живлення
Допустимий коротковитримуваний струм	$x I_n$ протягом 60 с (нормальне навантаження) $1,5 x I_n$ протягом 60 с (тяжкі умови)
Компенсація проковзування валу двигуна	Недоступно для електродвигунів з постійними магнітами Може подавлятися Автоматично при будь-якій нарузці Регульований
Програми прискорення та гальмування	Linear adjustable separately from 0.01...9999 s
Гальмування до зупинки	Подачею постійного току
Тип захисту	Тепловий захист: двигун Захисне відключення двигуна при перевищенні обертового моменту: двигун Зникнення фази двигуна: двигун Тепловий захист: привід Захисне відключення двигуна при перевищенні обертового моменту: привід Перевищення температури: привід Надструм між вихідною фазою і землею: привід Перевантаження по вихідній напрузі: привід Захист від короткого замикання: привід Зникнення фази двигуна: привід Перенапругення на шині пост. струму: привід Підвищена напруга лінії живлення: привід Підвищена напруга живлення: привід Значне зменшення напруги лінії живлення: привід Перевищення швидкості: привід Вимк. в ланцюзі управління: привід

#### 4.4 Опис алгоритму керування зміною режиму навантаження котла

Робота водяного котла передбачає забезпечення потреб споживачів теплової енергії, тобто подачу споживачам гарячої води заданих характеристик. Для цього котел повинен мати органи керування поточним навантаженням котла та забезпечувати оптимальне протікання процесів горіння.

Для цього встановлюються частотні перетворювачі на дуттьовий вентилятор та димосос (див. рисунок 4.1).

Завдання димососа – забезпечити необхідне розрідження в топці котла і тяги. Тяга істотно залежить від погоди, вітру і температури повітря, режиму роботи котла. Розрідження в топці котла вимірюється перетворювачем тиску з уніфікованим вихідним сигналом. Перетворювач тиску можна приєднати до входу частотного перетворювача і задіяти вбудований ПІД-регулятор для автоматичної зміни продуктивності димососа залежно від показників перетворювача тиску. Задане значення розрідження в топці котла оператор встановлює на лицьовій частині ЧП.

Дуттьовий вентилятор встановлено перед топкою, він нагнітає повітря в пальники, забезпечуючи співвідношення паливо/повітря. Частота обертів двигуна вентилятора залежить від показників перетворювача тиску газу перед пальниками.

Зміна режиму роботи котла КВГМ-20 та встановлення необхідної теплової потужності здійснюється за рахунок зміни значення тиску природного газу на котел. Зміна тиску природного газу на котел впливає на перетворювач тиску газу перед подачею на пальники РЕ2 (рисунок 4.1), сигнал від якого подається на частотний перетворювач ЧП двигуна повітряного вентилятора. ЧП змінює кількість обертів і потужність вентилятора таким чином, щоби забезпечити необхідне значення надлишку повітря для конкретного режиму роботи котла.

Оптимальне співвідношення паливо/повітря при різних режимах роботи котла визначається на етапі пуско-налагоджувальних випробувань, дані про це заносяться до режимної карти. Витрата палива визначається показниками тиску палива (датчик РЕ2, див. рисунок 4.1). Витрата повітря залежить від поточної витрати палива, тиск повітря (продуктивність вентилятора) має змінюватися залежно від тиску палива. Датчик РЕ2 приєднується до ЧП як зовнішній задатчик обертів двигуна, його показники масштабуються до діапазону роботи ЧП.

Для подальшого вдосконалення системи автоматичного регулювання навантаженням котла та забезпечення роботи котла в автоматичному режимі з реалізацією функцій безпеки, блокування, зміни режимів й регулювання усіх необхідних технологічних параметрів у дальшому необхідно запланувати провести додаткове облаштування системи встановленням щита автоматичного програмного керування, до якого під'єднати нові датчики та виконавчі механізми як газової так і повітряної магістралей. Окрім того, потрібно бути розробити відповідне програмне забезпечення, яке повинно бути включено до контролера, який повинен керувати системою автоматичного керування котлом з відображенням активних механізмів, приладів, датчиків і положень запірної арматури на відповідному комп'ютерному моніторі.

#### **4.5 Висновки до розділу 4**

В розділі 4 наведено принципову схему підключення частотних перетворювачів, загальні дані та характеристики частотних перетворювачів електродвигуна вентилятора Schneider Electric Altivar ATV630D37N4 та електродвигуна димососа Schneider Electric Altivar ATV630D55N4. Описано алгоритм керування зміною режимів навантаження котла за допомогою облаштування систем автоматичного керування.

## 5 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РЕЖИМІВ РОБОТИ КОТЛА ПІСЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ

### 5.1 Показники та характеристики роботи котла на різних режимах навантаження

Після заміни штатного пальника РГМГ-20 на пальник типу МГП-20 Державним Центром по випробуванню та впровадженню паливовикористовуючого обладнання були проведені випробування, що показали відповідність роботи котла з мікрофакельним пальником до діючих норм. Випробування мікрофакельного газового пальника типу МГП-20 проводилися в діапазоні можливих експлуатаційних навантажень зі зміною положень заслонок №1, №2 підводу газу до пальника з регулюванням співвідношення тиску газу, тиску повітря та розрідження в топці котла на кожному навантаженні.

Було проведено 7 балансових дослідів в діапазоні навантажень 4,27÷11,08 Гкал/год.

Перед проведенням балансових дослідів експериментально визначені:

- оптимальні надлишки повітря в досліджуваному діапазоні навантажень;
- оптимальне співвідношення «паливо-повітря»;
- вміст кисню, оксидів вуглецю і азоту у відхідних газах.

Реєстрація параметрів роботи котла проводилися за допомогою штатних приладів, які перед початком випробувань були перевірені СТАВ КТМ

Технічна характеристика пальника газового МГП-20 за результатами випробувань приведена в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Технічна характеристика пальника газового МГП-20

Найменування параметру	Одиниця виміру	Величина параметру	
		заявлена (нормована)	фактична
2	3	4	5
Теплова потужність:	Гкал/год		4,71
- мінімальна експлуатаційна	Гкал/год	-	7,58
- максимальна експлуатаційна		-	
Нижча теплота згоряння газу	ккал/м <sup>3</sup>	8195	8211
Витрата природного газу:			
- мінімальна експлуатаційна	нм <sup>3</sup> /год	-	574
- максимальна експлуатаційна	нм <sup>3</sup> /год	-	923
Коефіцієнт експлуатаційного регулювання по тепловій потужності	-		1,61 4,58
Тиск газу перед пальником при тепловій потужності:		-	
- мінімальній експлуатаційній	кПа		10
- максимальній експлуатаційній	кПа		30

Продовження таблиці 5.1

Тиск повітря перед пальником при тепловій потужності: - мінімальній експлуатаційній - максимальній експлуатаційній	кПа кПа	- -	0,2 0,55
Коефіцієнт надлишку повітря при максимальній експлуатаційній тепловій потужності	-	не більше 1,25	1,14
Вміст шкідливих домішок в сухих нерозбавлених продуктах згоряння (при $\alpha=1.0$ , $O_2=0\%$ ) при максимальній експлуатаційній тепловій потужності: - оксиду вуглецю $CO$	%  мг/м <sup>3</sup>	не більше 0,05  не більше 250	0,006  21
- оксидів азоту $NO_x$ у перерахунку на $NO_2$	мг/м <sup>3</sup>	не більше 500	110
Вміст шкідливих домішок в сухих нерозбавлених продуктах згоряння (при $O_2=3\%$ ) при максимальній експлуатаційній тепловій потужності: - оксиду вуглецю $CO$	мг/м <sup>3</sup>	не більше 250	17
- оксидів азоту $NO_x$ у перерахунку на $NO_2$	мг/м <sup>3</sup>	не більше 500	94

Відомість заміряних та розрахункових величин водогрійного котла КВГМ-20 РК «Веркон» за результатами випробувань, проведених 9 грудня 2020 року наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Відомість заміряних та розрахункових величин водогрійного котла КВГМ-20 РК «Веркон» при роботі на природньому газі з пальником МГП-20

Найменування величин	Позначення	Розмірн.	Номер досліду:					
			1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>I ПАЛИВО - ГАЗ</b>								
Витрата газу по лічильнику	$V_r$	м <sup>3</sup> /год	570	650	740	810	915	965
Тиск газу в колекторі	$P_r'$	кПа	33,3	32,4	31,4	31,4	31,4	33,3
Тиск газу на пальник	$P_r$	х10 кПа	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	3,25
Нижча теплота згоряння газу	$Q_p^p$	МДж/м <sup>3</sup>	34,346	34,346	34,346	34,346	34,346	34,346
<b>II МЕРЕЖНА ВОДА</b>								
Витрата мережної води	$G_{MB}$	т/год	247	247	247	247	247	247
Тиск мережної води до котла	$P_{MB}'$	кПа	931,6	931,6	931,6	931,6	931,6	931,6

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тиск мережної води після котла	$P_{\text{МВ}}''$	кПа	686,4	686,4	686,4	686,4	686,4	686,4
Температура мережної води до котла	$t_{\text{МВ}}'$	°C	54	53	52	52	50	49
Температура мережної води за котлом	$t_{\text{МВ}}''$	°C	71	73	75	77	78	79
Різниця температур	$\Delta t$	°C	17	20	23	25	28	30
III ПОВІТРЯ ТА ДИМОВІ ГАЗИ								
Температура повітря після ДВ	$t_{\text{ХП}}$	°C	15	15	15	15	15	15
Тиск повітря	$P_{\text{П}}$	кПа	0,2	0,28	0,37	0,45	0,55	0,58
Барометричний тиск	$B$	кПа	100,26	100,26	100,26	100,26	100,26	100,26
Разрідження в топці	$S_{\text{Т}}$	кПа	245,2	245,2	245,2	245,2	245,2	245,2
Температура відхідних газів	$t_{\text{ВГ}}$	°C	80,0	82,0	84,0	87,0	91,0	94,0
IV ГАЗОВИЙ АНАЛІЗ								
$RO_2$ у відхідних газах	$RO_2$	%	10,60	10,50	10,50	10,50	10,50	10,40
$O_2$ у відхідних газах	$O_2$	%	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
$NO_x$ у відхідних газах	$NO_x$	ppm	42,4	48,5	50,0	47,3	47,8	46,5
$NO_x$ у відхідних газах	$NO_x$	мг/м <sup>3</sup>	87	100	103	97	98	95
$CO$ у відхідних газах	$CO$	ppm	20	7	6	15	12	14
$CO$ у відхідних газах	$CO$	мг/м <sup>3</sup>	25	9	7	19	15	18
Надлишок повітря в відхідних газах	$\alpha_{\text{ВГ}}$	-	1,105	1,105	1,105	1,105	1,105	1,105
V Техніко-економічні показники котла								
Теплове навантаження котла по прямому балансу	$Q_{\text{К}}^{\text{бп}}$	МВт	4,88	5,69	6,61	7,19	8,05	8,62
Теплове навантаження котла по зворотному балансу	$Q_{\text{К}}^{\text{бп}}$	МВт	4,97	5,71	6,55	7,18	7,78	8,93
Стала $C'$	$C$	-	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Стала $B$	$B$	-	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Стала $K$	$K$	-	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53

Закінчення таблиці 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Втрата тепла з відхідними газами	$q_2$	%	2,986	3,083	3,173	3,309	3,489	3,624
Втрата тепла від хімічного допалу	$q_3$	%	0,007	0,002	0,002	0,005	0,004	0,005
Втрата тепла в навколишнє середовище	$q_5$	%	5,72	4,86	4,22	3,89	3,47	3,24
ККД котла "брутто" по зворотному балансу	$\eta_{\text{к}}^{\text{бр}}$	%	91,292	92,056	92,600	92,800	93,037	93,132
Питома витрата ум.пал. на виробництво 1 Гкал	$b_{\text{ум.л}}$	г/МВт	134,6	133,4	132,7	132,3	131,9	132,1
Витрата газу по зворотному балансу	$V_{\text{гзв}}$	нм <sup>3</sup> /Го д	560,0	653,4	747,0	810,2	905,1	968,8

На основі даних випробувань (див. таблиці 5.1 та 5.2) визначили питомі показники викидів забруднюючих речовин, а також показники теплопродуктивності та ККД.

Отримані результати зведені в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Питомих викиди забруднюючих речовин котла КВГМ-20

Найменуван-ня величин	Поз-начення	Розмір-ність	Номер досліду:					
			1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Коефіцієнт розбавлення	$h$	-	1,11	1,12	1,12	1,12	1,12	1,13
Атмосферний тиск	$B$	кПа	752	752	752	752	752	752
Теплопро-дуктивність котла	$Q_{\text{к}}^{\text{бр}}$	МВт	4,88	5,75	6,61	7,19	8,05	8,62
ККД. котла "брутто"	$\eta_{\text{к пр}}^{\text{бр}}$	%	91,292	92,056	92,6	92,8	93,037	93,132
Нижча теплота спалювання, віднесена до об'єму сухих продуктів спалювання при $\alpha=1$	$Q_{\text{н}}^{\text{р}}$	кДж/м <sup>3</sup>	4,187	4,187	4,187	4,187	4,187	4,187
Масова концентрація $NO_x$	$NO_x$	мг/м <sup>3</sup>	87,0	99,6	102,7	97,1	98,1	95,5



Продовження таблиці 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Масова концентрація $CO$	$CO$	мг/м <sup>3</sup>	25,1	8,8	6,9	18,8	15,1	17,6
Масова концентрація $NO_x$ при $\alpha=1$	$Ca=1N_x$	мг/м <sup>3</sup>	96,90	111,90	115,36	109,13	110,28	108,32
Масова концентрація $CO$ при $\alpha=1$	$Ca=1CO$	мг/м <sup>3</sup>	27,96	9,88	7,76	21,17	16,94	19,95
Масова концентрація $NO_x$ при $O_2=3\%$	$C_{NO_x}=3\%$	мг/м <sup>3</sup>	83,03	95,89	98,85	93,51	94,50	92,82
Масова концентрація $CO$ при $O_2=3\%$	$C_{CO}=3\%$	мг/м <sup>3</sup>	23,96	8,47	6,65	18,14	14,51	17,10
Питомий викид $NO_x$ при $\alpha=1$	$b_{NO_x}$	мг/кВт год	91,26	104,51	107,11	81,62	101,92	100,00
Питомий викид $CO$ при $\alpha=1$	$b_{CO}$	мг/кВт год	26,34	9,23	7,21	15,83	15,65	18,42
Питомий викид $NO_x$ при $\alpha=1$	$b_{NO_x}$	г/Гкал	106,14	121,55	124,57	94,92	118,53	116,30
Питомий викид $CO$ при $\alpha=1$	$b_{CO}$	г/Гкал	30,63	10,73	8,38	18,42	18,20	21,42
Секундний викид $NO_x$	$M_{NO_x}$	г/с	0,12	0,17	0,20	0,16	0,23	0,24
Секундний викид $CO$	$M_{CO}$	г/с	0,036	0,015	0,013	0,032	0,035	0,044

Під час випробувань мікрофакельного газового пальника типу МГП-20 на всьому спектрі регулювання спостерігалось стійке спалювання газового палива.

Масова концентрація  $NO_x$  при  $O_2=3\%$  при повністю відкритій газовій заслонке Г №2 та закритой на 100% газовій заслонке Г №2 на пальнику на навантаженнях до 7.38 Гкал/год не перевищувала 100 мг/м<sup>3</sup>, робота пальника в цьому режимі обмежена тиском газу в колекторі [14].

При роботі пальника з відкритими газовими заслонками Г№1, Г№2 було досягнуто навантаження 11,08 Гкал/год при витраті газу 1450 м<sup>3</sup>/год, наступне збільшення навантаження виконати не вдалось у зв'язку з недостатньою кількістю повітря на пальник (максимальне досягнене значення тиску повітря 1,05 кПа).

## 5.2 Результати енерго-екологічних випробувань котла після модернізації

На основі отриманих під час випробування котла даних будуємо графік викидів оксидів азоту ( $NO_x$ ) до та після модернізації та викидів оксиду вуглецю ( $CO$ ) залежно від теплового навантаження котла (рисунок 5.1).

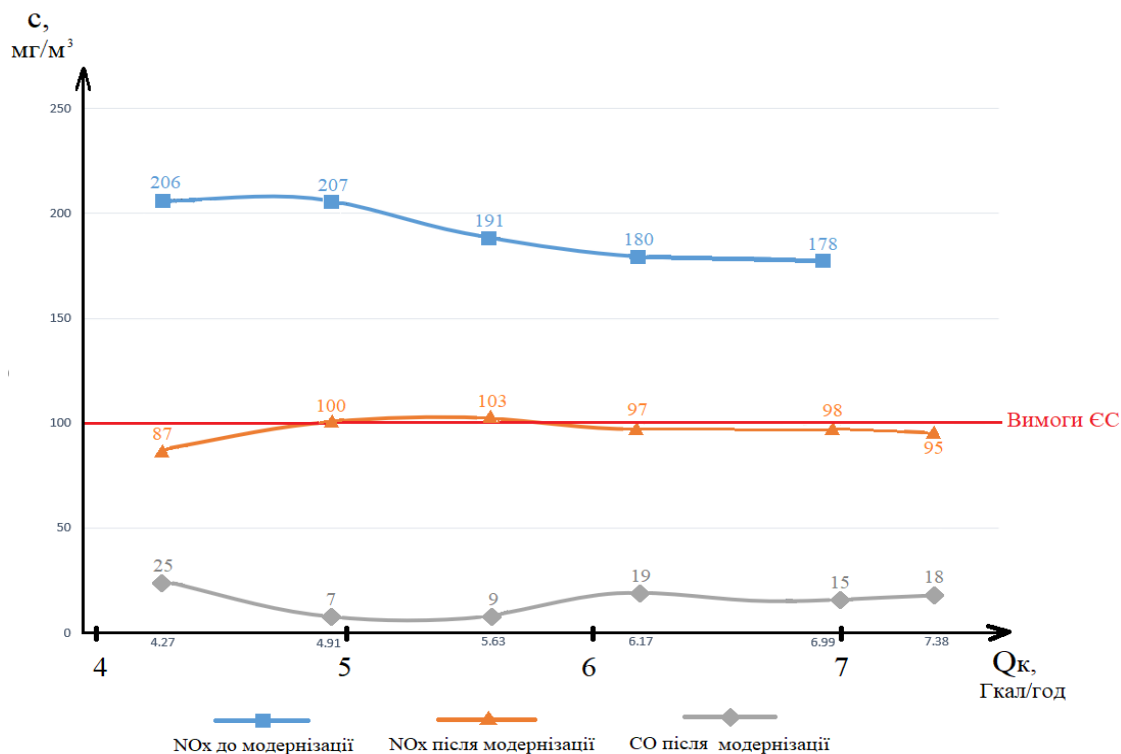


Рисунок 5.1 – Графік викидів  $NO_x$  та  $CO$

Як видно з графіка, після заміни штатного пального на паливо МГП викиди оксидів азоту  $NO_x$  зменшились приблизно в 2 рази і складають в середньому менше  $100 \text{ мг/м}^3$ . Крім того викиди оксиду вуглецю  $CO$  в діапазоні регулювання роботи котла значно нижчі за  $100 \text{ мг/м}^3$ , що відповідає до вимог ЄС [1].

Також з рисунка 5.1 видно, що застосування мікрофакельного пального дозволило розширити діапазон стабільної роботи котла в порівнянні з роботою на штатному пальному та забезпечується низька емісія оксидів азоту при малому навантаженні котла, в той час як при роботі штатного пального саме в цій області були зафіксовані найбільші викиди  $NO_x$  (понад  $200 \text{ мг/м}^3$ ).

На рисунку 5.2 наведена залежність втрат теплоти в навколишнє середовище та втрат з хімічним недопалом від теплового навантаження котла.

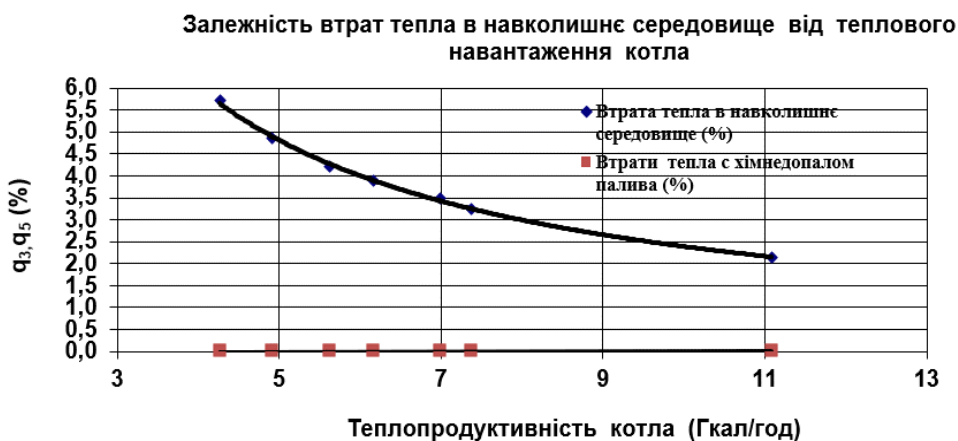


Рисунок 5.2 - Залежність втрат теплоти у довкілля ( $q_5$ ) та втрат теплоти від хімічного недопалу ( $q_3$ - емісія  $CO$ )

Як видно з рисунка 5.2 при роботі котла з пальником МГП-20 відсутні втрати з хімічним недопалом, що означає як підвищення енергетичної так і екологічної ефективності роботи котла.

### 5.3 Висновки до розділу 5

В даному розділі наведені результати державних випробувань котла КВГМ-20 в діапазоні можливих експлуатаційних навантажень після заміни штатного пальника на мікрофакельний пальник МГП-20.

Результати випробувань показали покращення експлуатаційних характеристик котла та відповідність до діючих екологічних норм. Таким чином завдяки модернізації пальникових пристроїв досягається комплексне покращення роботи котла.

## ВИСНОВКИ

В даній магістерській дисертації було наведено дослідження енерго-екологічної ефективності та умов експлуатації водогрійного котла КВГМ-20 РК «Веркон» при роботі на штатному пальному РГМГ-20 та штатній системі контролю параметрів його роботи.

На підставі аналізу паспортної документації котла та його обладнання зазначені конструктивні та технологічні характеристики роботи котла КВГМ-20, а також його основного та допоміжного обладнання.

Наведені загальні умови дослідних випробувань, методика та результати розрахунків роботи котла зі штатним пальником, проведені натурні випробування котла та проаналізовані енерго-екологічні показники на різних режимах навантаження.

На підставі розробленої 3-D моделі у програмному середовищі SolidWorks досліджено детально аеродинамічні та теплові процеси у штатному пальному РГМГ-20 та топці котла. Отримані результати дослідження на моделі були перевірено порівнянням із значеннями, отриманими аналітичним та практичним шляхом, що підтвердило їх об'єктивність.

Результати модельних та розрахункових досліджень дозволили виявити комплекс особливостей і недоліків протікання тепло- та масообмінних процесів у топці котла, прослідкувати логічний зв'язок негативного впливу цих недоліків на теплову ефективність і екологічну безпеку експлуатації котла із штатним пальником типу РГМГ-20.

Виявлені недоліки роботи котла КВГМ-20 із штатним пальником дозволили обґрунтувати актуальність проведення мало витратної і швидкої модернізації паливної системи і автоматизованої системи управління котельного обладнання з метою приведення показників роботи котла до існуючих енергетичних і екологічних норм.

Для проведення модернізації обґрунтовано вибір пальника, що реалізує мікрофакельну технологію газоспалювання. На розробленій математичній 3-D моделі пальника МГП проведено дослідження організації та проведення аеродинамічних та теплових у топці котла.

На підставі комплексних досліджень доведено переваги застосування модернізації котла заміною пальника РГМГ-20 на мікрофакельний газовий паливник МГП-20 з можливістю забезпечення максимально повне згорання газоподібного палива у топці котла з мінімальним значенням коефіцієнті надлишку повітря та значно меншим аеродинамічним опором, що сприяє покращенню сумішоутворення та забезпечує підвищення енерго-екологічних характеристик роботи котла.

З метою розширення робочого діапазону стійкої та ефективної роботи котла та досягнення комплексного ефекту запропоновано та підібрано необхідне обладнання та описано схему

підключення і алгоритм керування частотними перетворювачами дуттьового вентилятора та димососа.

Розроблено та впроваджено технологічні карти демонтажу пальника РГМГ-20 та монтажу газового пальника типу МГП-20 для котла КВГМ-20.

Після проведення модернізації котла заміною пальника, встановленням частотних перетворювачів на електродвигуни повітряного вентилятора та димососа вихлопних газів, вдосконалення алгоритму керування котлом автоматизованою системою управління розроблено Програму та здійснено випробування котла за нових умов організації технологічного процесу.

Отримані результати натурних випробувань котла КВГМ-20 після проведення його модернізації, що проаналізовано у аналітичному, табличному та графічному вигляді показали суттєві переваги за експлуатаційними показниками:

- ККД котла збільшився на 92,04 % до величини 93,1 %;
- суттєво розширився діапазон стійкої і ефективної роботи котла від 5 до 100% навантаження;
- економія палива на номінальному навантаженні котла оцінюється у 3,3–4 %;
- суттєво знизився загальний шум та вібрація обладнання роботи котла;
- значно знизилася концентрація викидів шкідливих речовин CO та NOx, значення яких не перевищують для CO 25 мг/м<sup>3</sup>, а для NOx 98 мг/м<sup>3</sup>.

Проведені державні випробування котла КВГМ-20 з пальником МГП-20 після модернізації паливної системи та системи управління довели покращення енерго-екологічних та експлуатаційних характеристик котла, які стали відповідати сучасним вимогам національних і Європейських норм з енергетичної і екологічної ефективності, про що складено відповідний протокол, атестаційний лист та заключення.

Таким чином завдяки проведеній модернізації вдалося досягти і довести покращення роботи котла за комплексом енерго-екологічних показників.

В останньому розділі описано заходи по охороні праці та безпеці в надзвичайних ситуаціях, при роботі в котельні та експлуатації котельного обладнання.

Результати роботи підтверджено матеріалами, що викладено у Додатках.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Паризька угода [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_161#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_161#Text) (19.11.20).
2. Національний план скорочення викидів від великих великих спалювальних установок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/796-2017-%D1%80#Text> (01.12.20).
3. Угода про асоціацію України з ЄС [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/diyalnist/yeuropejska-integraciya/ugoda-pro-asociacyu> (01.12.20).
4. Мухін М.С. Застосування унікальних властивостей МТС-технології для модернізації пальникової системи котла КВГМ-20. / Мухін М.С., К.О.Романова, Г.Б.Варламов // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів 2020 року. У 2 т. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – Т. 1. с.170.
5. Трёмбовля В.И. Теплотехнические испытания котельных установок/ В.И.Трёмбовля.– М.: «Энергоатомиздат», 1991.–416 с.
6. Денісов А.К. Новітні технології в енергетиці: навч. посіб. / А.К. Денісов, С.А. Денісов, М.А. Смалько. – Рівне: НУВГП, 2010. – 29 с.
7. Любчик Г.Н Использование конструктивных особенностей и аэродинамических эффектов насадка Борда при создании малотоксичных топливосжигающих модулей/ Г.Н. Любчик, Г.Б. Варламов, Г.А. Микулин та ін.// Технологические системы.– 2002.– № 1.– с. 130-133.
8. Варламов Г.Б Особенности эмиссии NO<sub>x</sub> и CO в горелках на базе трубчатых модулей/Г.Б. Варламов, Г.Н.Любчик, С.А.Левчук та ін.// Энергетика: економіка, технології, екологія.–2001.– № 4.–С. 59-63.
9. Любчик Г.М. Емісійні характеристики пальників на базі трубчастих модулів/, Г.М.Любчик, Г.С.Марченко, Г.Б.Варламов та ін.// Экотехнологии и ресурсосбережение.–2004.– №1.–С. 73-79.
10. Патент га винахід 98095 Україна, МПК F23D14/02, F23D14/22. Низькоемісійний газовий пальник трубчастого типу з направленим повітряним потоком/ Г.Б. Варламов, К.О. Приймак, П.О. Позняков та ін. (Україна). – № 201113153; заявл. 08.11.11; опубл. 10.04.12, Бюл.№ 7. – 5с.
11. Особенности эмиссии NO<sub>x</sub> и CO в горелках на базе трубчатых модулей / Г.Н. Любчик, С.А. Левчук, Г.Б. Варламов и др. // Энергетика: економіка, технології, екологія.– 2001. – №4. –С. 59–63.

12. Патент на винахід 50168 Україна, МПК F23D14/02, F23D14/22. Газовий пальник / Г.Б. Варламов, Г.М. Любчик, Г.С. Марченко та ін. (Україна). – № 2001117468; заявл. 01.11.01; опубл. 15.10.02, Бюл. № 10. –4с.

13. Частотні перетворювачі Altivar [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.altivar.com.ua/altivar-630> (15.04.20).

14. ГКД 34.02.305-2002 Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. – Чинний від 01.07.2002. –К.: НТЦ НАН України, 2002.–25 с.

## Додаток А

Висновки Державного центру по випробуванню та впровадженню паливовикористовуючого  
обладнання «ЦВВПО»



**ДЕРЖАВНИЙ ЦЕНТР ПО ВИПРОБУВАННЮ ТА ВПРОВАДЖЕННЮ  
ПАЛИВОВИКРИСТОВУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ**

03113, м. Київ-113, вул. Дегтярівська, 39

тел/факс: 456-41-24

e-mail: civto@meta.ua

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Центру  
експерт технічний з промислової безпеки

\_\_\_\_\_ Сергій ЦВЕТКОВ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**В И С Н О В К И**

На підставі результатів Державних приймальних випробувань пальника газового МГП-20, розробленого ТОВ «НВП Єврофорфард Україна» (м. Київ), встановлено, що пальник МГП-20 відповідає вимогам ГОСТ 21204-97 «Горелки газовые промышленные. Классификация. Общие технические требования, маркировка и хранение», НПАОП 0.00-1.76-15 «Правила безпеки систем газопостачання» та «Нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел».

Головний інженер

Євген ЦВЕТКОВ

Старший інженер

Володимир СІДЕЛЬНИКОВ



## Додаток Б

Акт закінчення режимно-налагоджувальних та еколого-теплотехнічних випробувань котла  
КВГМ-20 №8 КТМ РК «ВЕРКОН»

## АКТ

закінчення режимно-налагоджувальних та еколого-теплотехнічних випробувань  
водогрійного котла  
КВГМ-20 ст.№8 РК «Веркон» СП КТМ КП «Київтеплоенерго».

Ми, що нижче підписались, склали цей акт про те, що 15.12.2020р. закінчені режимно-налагоджувальні та еколого-теплотехнічні випробування водогрійного котла КВГМ-20 ст.№8 РК «Веркон» в комплекті з газовим пальником МГП-20, вентилятором ВД-12 та димососом ВДН-12, які укомплектовані частотними перетворювачами FREKON (40-55)кВт

В результаті проведених випробувань отримані показники роботи котла при витраті газу на котел 416-:-965 м<sup>3</sup>/год при розрідженні в топці котла 2,5кгс/см<sup>2</sup> та тиску повітря на пальник 0,20-:-1,07кПа при концентрації оксиду вуглецю у вихідних газах 0-:-17мг/м<sup>3</sup>, оксидів азоту 78,1-:-93 мг/м<sup>3</sup> при O<sub>2</sub>= 3%.

Більш детальні розрахунки представлені у додатку 1 до даного протоколу. Подальше проведення випробувань неможливе по причині недостатності тиску повітря.

Нач. ЦТ-5

Панасюк П.М.

Заст. Директора «ТОВ БУДГРУП АЛЬЯНС»

Варламов Г.Б.

Заст. Нач. УТ

Овчар В.М.

Керівник групи СНВ КТО

Бухаров В.В.

Пров. інженер СНВ КТО

Осьмачкін О.П.

Пров. інженер СНВ КТО

Дяченко Г.В.

## Додаток В

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Декан теплоенергетичного  
факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського

\_\_\_\_\_ Євген ПИСЬМЕННИЙ  
02 лютого 2021 р.

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Заст. Головного інженера  
СП «Київські теплові мережі»  
КП «КИЇВТЕПЛОЕНЕРГО»

\_\_\_\_\_ Олег ШЕЛЕСТ  
02 лютого 2021 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на науково-дослідну роботу

**«Підвищення енерго-екологічної ефективності та умов експлуатації  
водогрійного котла КВГМ-20»»**

**1. Термін виконання роботи**

Початок – 02.02. 2020 р.  
Закінчення – 10.05. 2020 р.

**2. Обґрунтування для виконання роботи:** Для України, що підписала Паризький протокол щодо дотримання екологічних норм під час виробничих процесів на підприємствах усіх галузей економіки, є важливим впровадження Європейських норм за відповідними екологічними Директивами ЄС у енергетичній галузі. Виконання даної роботи пов'язано з необхідністю підвищення екологічних показників енерговиробництва з високим рівнем енергетичної ефективності експлуатації котельних агрегатів, що використовують органічне паливо.

**3. Мета роботи:** Метою роботи є розробка та впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності та екологічної чистоти експлуатаційних характеристик котла типу КВГМ-20 за рахунок аналізу недоліків експлуатації штатної пальникової системи, здійсненням моделювання та оптимізації аеродинамічних та теплових процесів у топці котла, обґрунтуванням та проведенням модернізації котла заміною пальника, що реалізує мікрофакельну технологію газоспалювання.

**4. Зміст основних етапів виконання роботи:**

- 1) Дослідження та аналіз аеродинамічних процесів у топці котла;
- 2) Створення математичних моделей пальникових паристроїв у ПС «Solid Works»
- 3) Моделювання сумішеутворюючих процесів штатного та мікрофакельного пальників;
- 4). Визначення недоліків у штатному та переваг спалювання газу у мікрофакельному пальниках.
- 5) Обґрунтування необхідності проведення модернізації пальникової системи;
- 6) Визначення конструктивних особливостей мікрофакельного пальника;
- 7) Розробка методології обрахунку результатів енерго-екологічних показників роботи котла після модернізації. Аналіз та систематизація результатів.

**5. Матеріали, що подаються після закінчення роботи**

5.1. Магістерська дисертація.

5.2. Довідка про впровадження результатів.

#### **6. Порядок розгляду і приймання роботи**

Результати роботи розглядаються на засіданні ЕК із захисту атестаційних робіт освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 144 «Теплоенергетика» освітньо-наукової програми «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження».

#### **Керівник роботи**

Зав.каф ТПТ ТЕФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

\_\_\_\_\_ Геннадій ВАРЛАМОВ  
«13» \_\_\_\_\_ «02» лютого 2021 р.

#### **Виконавець**

Студент гр. ТП-91мн,  
ТЕФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

\_\_\_\_\_ Іван МІТЧЕНКО  
«02» лютого 2021 р..

Додаток Г

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Заст. головного інженера

КП «Київтеплоенерго»

\_\_\_\_\_ Олег ШЕЛЕСТ

«\_\_» травня 2021 р.

### **АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ**

Результатів магістерської дисертації

студента КПІ ім. Ігоря Сікорського Мітченка Івана Олександровича

Результати магістерської дисертації студента теплоенергетичного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського на тему: Підвищення енерго-екологічної ефективності та умов експлуатації водогрійного котла КВГМ-20 упровадженні в РК «Веркон» в частині модернізації палинкової системи котла КВГМ-20 за рахунок заміни штатного палиника на мікрофакельний та встановленні частотних перетворювачів.

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ проф. Геннадій ВАРЛАМОВ

«\_\_\_\_» травня 2021 р

## Додаток Д

**СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ** Мітченка Івана Олександровича

(прізвище, ім'я, по-батькові студента)

№ з/п	Найменування праць	Рукописні або друковані	Назва видавництва, журналу (номер, рік) або номер авторського свідоцтва, номер диплома на винахід	Кількість друкованих аркушів або сторінок разом	Прізвища співавторів праць
1	2	3	4	5	6
1	Параметричні та режимні обмеження реального використання теплових насосів в системах низькотемпературної утилізації теплоти відхідних газів енерготехнологічних агрегатів	Друк	Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів "Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики", Київ, 23 - 26 квітня 2019 р., у 2 т.-Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.-Т.1, С.275	1 стор.	Голіяд М.Н.
2	Результати комплексного енерго-екологічного аналізу умов експлуатації потужного котла КВГМ-100 (м. Київ, ТЕЦ-5)	Друк	Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів "Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики" Київ, 21-24 квітня 2020 р., у 2 т.-Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020.-Т.1, С.176	1 стор.	Варламов Г.Б. Глазирін С.О.
3	Енергоефективність опалювальних котлів	Друк	Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів "Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики" Київ, 21-24 квітня 2020 р. у 2 т.-Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020.-Т.1, С.177	1 стор.	Куделя П.П.

4	Мікрофакельная топливная система котла с высокими энерго-экологическими показателями сжигания топлива	Друк	Збірник наукових статей XVI Міжнародної науково- практичній конференції «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення» м. Харків, 14-18 вересня 2020 р. / УКРНДІЕП. – ПП «Стиль- Іздат», 2020.-С.66-68	3 стор.	Варламов Г. Б. Романова К. О.
5	Особливості експлуатації водогрійного котла КВГМ-20 після модернізації паливної системи	Друк	Матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» м. Київ, 20–23 квітня 2021 р., у 2 т.-Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020.-Т.1, С.312	1 стор.	Варламов Г.Б. У Цзунянь

Автор

Іван МІТЧЕНКО  
(ініціали, прізвище)

## Додаток Е

## Результати перевірки на академічний плагіат



Ім'я користувача:  
Боженко Михайло Федорович

ID перевірки:  
100777775

Дата перевірки:  
07.05.2021 21:21:38 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
07.05.2021 21:35:14 EEST

ID користувача:  
100005082

Назва документа: Mitchenko\_magistr

Кількість сторінок: 59 Кількість слів: 12243 Кількість символів: 87175 Розмір файлу: 2.48 MB ID файлу: 1007877240

## 4.84%

### Схожість

Найбільша схожість: 1.53% з Інтернет-джерелом ([https://ela.kpi.ua/jspui/bitstream/123456789/33715/1/U\\_Dzyunyan\\_ma..](https://ela.kpi.ua/jspui/bitstream/123456789/33715/1/U_Dzyunyan_ma..))

3.73% Джерела з Інтернету

25

Сторінка 61

3.92% Джерела з Бібліотеки

40

Сторінка 62

## 0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

## 0.35%

### Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 10 слів та 0%)

0.11% Вилучення з Інтернету

99

Сторінка 63

0.29% Вилученого тексту з Бібліотеки

145

Сторінка 64

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

125